

**PROGRAMA COMPUTACIONAL PARA OTIMIZAÇÃO DA  
LASTRAGEM DE TRATORES AGRÍCOLAS**

**PABLO PEREIRA CORRÊA KLAVER**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE  
DARCY RIBEIRO**

**CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ  
FEVEREIRO – 2013**

**PROGRAMA COMPUTACIONAL PARA OTIMIZAÇÃO DA  
LASTRAGEM DE TRATORES AGRÍCOLAS**

**PABLO PEREIRA CORRÊA KLAVER**

**Tese apresentada ao Centro de Ciências e  
Tecnologias Agropecuárias da  
Universidade Estadual do Norte Fluminense  
Darcy Ribeiro, como parte das exigências  
para obtenção do título de Doutor em  
Produção Vegetal, com ênfase em  
Mecanização Agrícola**

**Orientador: Prof. Ricardo Ferreira Garcia**

**CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ  
FEVEREIRO – 2013**

## FICHA CATALOGRÁFICA

Preparada pela Biblioteca do **CCTA / UENF** 026/2013

Klaver, Pablo Pereira Corrêa

Programa computacional para otimização da lastragem de tratores agrícolas / Pablo Pereira Corrêa Klaver. – 2013.

67 f. : il.

Orientador: Ricardo Ferreira Garcia.

Tese (Doutorado - Produção Vegetal) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias. Campos dos Goytacazes, RJ, 2013.

Bibliografia: f. 64 – 67.

1. Mecanização agrícola 2. Programação 3. Desenvolvimento de sistemas 4. PHP 5. Informática I. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias. II. Título.

CDD – 631.372

# **PROGRAMA COMPUTACIONAL PARA OTIMIZAÇÃO DA LASTRAGEM DE TRATORES AGRÍCOLAS**

**PABLO PEREIRA CORRÊA KLAVER**

**Tese apresentada ao Centro de Ciências e  
Tecnologias Agropecuárias da  
Universidade Estadual do Norte Fluminense  
Darcy Ribeiro, como parte das exigências  
para obtenção do título de Doutor em  
Produção Vegetal, com ênfase em  
Mecanização Agrícola**

**Aprovada em 18 de fevereiro de 2013.**

**Comissão examinadora:**

---

**Prof. Geraldo de Amaral Gravina (D.Sc., Produção Vegetal) – UENF**

---

**Prof. Annabell Del Real Tamariz (D.Sc., Engenharia Elétrica) – UENF**

---

**Prof. Wellington Gonzaga Vale (D.Sc., Produção Vegetal) – UFMT**

---

**Prof. Ricardo Ferreira Garcia (D.Sc., Engenharia Agrícola) – UENF  
(Orientador)**

## DEDICAÇÃO

Aos meus pais, Nicolau Klaver e Maria Regina Klaver, por todo o apoio emocional e suporte financeiro que se fizeram necessários durante todo o percurso de elaboração dessa tese de doutorado em Produção Vegetal.

Ao meu irmão e melhor amigo, Teddy Klaver (*in memorium*), a minha noiva Thayana Pereira Oliveira e aos meus tios e tias, Célia Cristina, José Carlos, André, Angélica e Sônia Maria Pereira. Obrigado pelos conselhos e apoio tão necessários à minha formação acadêmica.

## **AGRADECIMENTO**

À Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro e ao Laboratório de Engenharia Agrícola, pela oportunidade de realização deste curso.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ), pela concessão da bolsa de estudos.

Ao professor Ricardo Ferreira Garcia, pela orientação, amizade, paciência, respeito, apoio e confiança durante todas as etapas deste trabalho.

Aos professores Geraldo de Amaral Gravina e José Tarcísio Lima Thiebaut, pelo inestimável auxílio na execução das análises estatísticas, pelos ensinamentos e sugestões.

Aos alunos de pós-graduação do curso de Produção Vegetal, José Francisco Sá Vasconcelos Júnior e Delorme Correa Junior, com os quais sempre pude contar durante a execução deste trabalho.

Aos funcionários da Coordenação de Pós-Graduação em Produção Vegetal.

Aos meus pais e meu irmão, pelo amor, pela compreensão e pela ajuda nas horas difíceis.

A todos aqueles que estiveram comigo, durante esta longa jornada, os meus mais sinceros agradecimentos.

E a Deus, pela vida, por sempre estar comigo, tanto nos momentos tristes e, também, nos felizes.

## **BIOGRAFIA**

Pablo Pereira Corrêa Klaver, filho de Nicolau Antônio Corrêa Klaver e Maria Regina Pereira Corrêa Klaver, nasceu em Barra do Piraí estado do Rio de Janeiro, no dia 09 de abril de 1981. Em dezembro de 2006, graduou-se em Engenharia Agrônômica pela Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF), em Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro. Em fevereiro de 2009, tornou-se mestre em Produção Vegetal. Em março de 2009, iniciou, na Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF), o curso de Doutorado em Produção Vegetal com ênfase em Mecanização Agrícola, defendendo tese em fevereiro de 2013.

## SUMÁRIO

RESUMO.....	viii
ABSTRACT.....	x
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	6
2.1 Mecanização agrícola.....	6
2.2 Adequação de sistemas mecanizados.....	8
2.3 Teoria da tração dos tratores agrícolas.....	12
2.3.1 Pneus agrícolas.....	12
2.3.2 Patinamento das rodas motrizes.....	14
2.3.3 Resistência ao rolamento.....	16
2.3.4 Transferência de peso.....	17
2.3.5 Teorias preditivas do trator em tração.....	21
2.4 Programas computacionais voltados para a área agrícola	26
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	32
3.1 Avaliação da transferência de peso e lastro de máquinas	34
3.2 Funcionamento do programa.....	38
3.3 Aquisição de dados.....	40
3.4 Ensaio de campo.....	44

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	50
4.1 Lastragem de tratores agrícolas visando a otimização de operações agrícolas mecanizadas.....	51
4.2 Valores resultantes obtidos pelos sensores em comunicação com o aquisitor de dados.....	54
5. CONCLUSÕES.....	62
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	64

## **RESUMO**

KLAVER, Pablo Pereira Corrêa, Engenheiro Agrônomo, D.Sc., Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, fevereiro de 2013. PROGRAMA COMPUTACIONAL OTIMIZAÇÃO DA LASTRAGEM DE TRATORES AGRÍCOLAS. Orientador: Ricardo Ferreira Garcia.

O uso de programas computacionais no setor agrícola permite atingir objetivos específicos na área. Dentre esses, um dos mais complexos é a seleção adequada de máquinas e implementos agrícolas, devido, principalmente à grande variedade de equipamentos existentes no mercado e a gama de tarefas e situações de trabalho a que estas são submetidas no campo. Este trabalho teve como objetivo o desenvolvimento de um programa computacional para determinar a lastragem de tratores agrícolas visando a adequação da distribuição de massa no trator para atingir as condições de melhor desempenho de tração visando a máxima eficiência tratória, de modo a reduzir o custo e as perdas. Com o uso do programa computacional, desenvolvido em linguagem PHP, tornou-se possível a execução

de tarefas de cálculo de lastro ideal do trator para determinada operação agrícola de forma simplificada através da internet.

## **ABSTRACT**

KLAVER, Pablo Pereira Corrêa, Agronomy Engineer, D.Sc., Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, 2013, February. COMPUTER PROGRAM OPTIMIZATION OF AGRICULTURAL TRACTORS BALLASTING. Adviser: Ricardo Ferreira Garcia.

The use of computer programs in agricultural sector achieves specific goals in area. Among these, one of most complex is appropriate selection of agricultural machinery and implements, mainly due to wide variety of equipment on market and range of tasks and work situations to which they are subjected in field. This study aimed to develop a computer program to determine ballasting tractors, looking for the best mass distribution of the tractor to achieve better performance conditions for maximum tractor traction efficiency, to reduce cost and losses. Using computer program, developed in PHP, it became possible to perform tasks of calculating ideal ballasting to a specific task in simplified form over internet.

## 1. INTRODUÇÃO

Nos primórdios da agricultura, todas as operações agrícolas eram realizadas manualmente. Atualmente, estes processos manuais são de baixa capacidade operacional e, portanto, viáveis economicamente apenas em pequenas propriedades, onde a finalidade principal da produção é a subsistência do agricultor e de sua família.

Com o aumento das populações e a necessidade de se produzir mais alimentos, com um número cada vez menor de pessoas empregadas na agricultura, as operações agrícolas começaram a ser mecanizadas (Garcia, 1998), e a grande variedade de máquinas agrícolas, disponíveis hoje, para realizar operações agrícolas permite ao agricultor uma escolha adequada para atender a sua demanda. Porém, as características de cada modelo variam e podem interferir no desenvolvimento da cultura.

Segundo Balastreire (1990), mecanização é o uso de máquinas para substituir o trabalho manual ou animal, e também se pode referir ao uso delas para auxiliar uma operação humana. A mecanização agrícola também levou o desemprego aos trabalhadores rurais, visto que a mão-de-obra foi substituída por máquinas como tratores, colhedoras, semeadoras e outras, que faziam o trabalho

de muitos lavradores. Mecanização agrícola é a utilização de um conjunto ou sistema de máquinas agrícolas de forma técnica e economicamente organizada, na execução de atividades exigidas pela produção agropecuária, objetivando obter o máximo de desempenho útil com um mínimo de dispêndio de tempo, de recursos financeiros e de energia. Os lavradores foram substituídos por máquinas como tratores, colhedoras, semeadoras e outras. O aproveitamento de equipamentos de tração animal também se acha incluído nesse conceito.

A mecanização agrícola é considerada necessária para o aumento da área cultivada e da produtividade das culturas. Está presente em todas as fases do processo agrícola, desde a limpeza de terreno até os tratamentos posteriores à colheita. Por isso, deve ser feita de maneira racional, obedecendo aos princípios conservacionistas.

Segundo Klaver, (2009), atualmente, há a necessidade do aumento da eficiência em todos os setores da economia globalizada para manter a competitividade. Para a agricultura, não poderia ser diferente. A otimização do projeto, evolução da informática, tecnologias em geoprocessamento, sistemas de posicionamento global, entre outras, estão proporcionando à agricultura uma nova forma de se enxergar a propriedade rural, deixando de ser somente uma, e sim várias propriedades dentro da mesma, porém com características específicas. Esta mudança na forma de fazer agricultura está tornando cada vez mais o produtor rural num empresário rural, por controlar cada vez mais a linha de produção. Esta mudança é necessária para que se enxergue a propriedade não sendo homogênea, e que se trate cada parte conforme a sua necessidade, fazendo com que o produtor tenha o conhecimento detalhado em cada parte da linha de produção ou cada metro quadrado da sua propriedade. A modernização do sistema de produção agrícola exige amplos e profundos conhecimentos para resolver diversos problemas inerentes à utilização efetiva de máquinas e implementos agrícolas. Dentre esses, pode-se dizer que um dos mais complexos é a seleção adequada de máquinas e implementos agrícolas, devido, principalmente, à grande variedade de equipamentos existentes no mercado.

Como todo setor da atividade humana, a agricultura brasileira está sofrendo a invasão de computadores, embora em ritmo bem mais lento da que ocorre nas cidades (Meira, 1996). Segundo o autor, certo atraso pode ser considerado normal – as novidades eletrônicas demoram mais a chegar à área

rural, mas existem pessoas que apontam como agravante as resistências culturais do homem do campo às inovações urbanas. As resistências existem, não em número tão considerável, vêm decrescendo e, acredita-se, vão praticamente desaparecer, à medida que aumentarem os bons resultados, sendo que a principal resistência encontrada é devido ao pouco conhecimento em informática dos produtores. Além disto, a falta de profissionais capacitados em informática na área rural prejudica ainda mais a adoção da informática. Atualmente, com o surgimento de empresas especializadas e o trabalho dos órgãos governamentais de pesquisa e de assistência técnica, já existe uma quantidade considerável de programas voltados para o campo.

Segundo Zambalde et al. (2006), a informatização na propriedade agrícola apresenta três estratégias básicas. Na opção de longo prazo, o programa atende a todos os requisitos, mas o custo é alto, tanto de desenvolvimento, como de manutenção. Na opção de curto prazo e de menor custo, os pacotes mais utilizados são planilhas eletrônicas, gerenciadores de banco de dados e editores de texto, que têm aplicação limitada, enquanto que, na opção intermediária, corre-se o risco de aceitar que sejam controlados aspectos não relevantes em detrimento de outros mais relacionados com os objetivos e estratégias da organização.

Na literatura especializada, existem dois tipos principais de programas computacionais para fins agropecuários – os aplicativos, em escala local, e os sistemas de informação, com uma abrangência maior. Os aplicativos são programas de computador destinados à resolução de problemas e à automação de processos bem específicos das propriedades rurais, como gerenciamento de rebanhos bovinos de leite ou de corte, controle de culturas e estimativa de custos da produção. Os sistemas de informação têm o objetivo principal de auxiliar na tomada de decisões importantes dentro do processo produtivo e na definição de políticas para o setor agrícola. Utiliza-se das mais modernas técnicas de informação, principalmente redes de comunicação de dados, como a internet, e podem ser utilizados por produtores, extensionistas rurais, cooperativas, prefeituras e demais órgãos interessados num determinado tipo de informação. Exemplos comuns são sistemas para consulta em bancos de dados agro meteorológicos, de técnicas agropecuárias, entre outros (Zambalde et al., 2006).

Um sistema computacional pode ser visto como uma associação entre dois conceitos cada vez mais utilizados na terminologia de informática: hardware, que está associado a parte física do sistema (os circuitos e dispositivos) que suporta o processamento da informação, e, software, que corresponde ao conjunto de programas responsáveis pela pilotagem do sistema para a execução das tarefas consideradas.

Uma linguagem de programação é um método padronizado para expressar instruções para um computador. É um conjunto de regras sintáticas e semânticas usadas para definir um programa de computador. Uma linguagem permite que um programador especifique precisamente sobre quais dados um computador vai atuar, como estes dados serão armazenados ou transmitidos e quais ações devem ser tomadas sob várias circunstâncias. O conjunto de palavras, compostos de acordo com essas regras, constituem o código fonte de um software. Esse código fonte é depois traduzido para código de máquina, que é executado pelo processador. Uma das principais metas das linguagens de programação é permitir que programadores tenham uma maior produtividade, permitindo expressar suas intenções mais facilmente do que quando comparado com a linguagem que um computador entende nativamente. Assim, linguagens de programação são projetadas para adotar uma sintaxe de nível mais alto, que pode ser mais facilmente entendida por programadores humanos. Linguagens de programação são ferramentas importantes para que programadores e engenheiros de software possam escrever programas mais organizados e com maior rapidez. Ao longo dos anos, foram desenvolvidas uma grande quantidade de linguagens de programação, algumas de uso mais geral e outras concebidas para áreas de aplicação específicas. As linguagens de programação mais utilizadas atualmente no setor de desenvolvimentos de programas atualmente são Java, C e PHP; seguidos de C++, Visual Basic, Perl, C++, Python, Javascript e Ruby.

Segundo Klaver (2006), uma das ferramentas atuais mais usadas para o desenvolvimento de programas de comunicação via internet é o PHP (*Hypertext Preprocessor*). A linguagem PHP, criada, em 1994, por Rasmus Lerdorf para seu uso pessoal, permite criar aplicações dinâmicas, possibilitando uma interação com o usuário através de formulários, parâmetros de entrada, entre outras características. A diferença do PHP em relação a linguagens semelhantes, como

o Javascript, é que o código PHP é executado no servidor, sendo enviado para o cliente apenas o código HTML (Hypertext Markup Language, ou linguagem de marcação de hipertexto). Desta maneira, é possível interagir com bancos de dados e aplicações existentes nos servidores. O fato do código PHP ser executado no servidor, permite que computadores com poucos recursos de processamento executem-no, bastando basicamente um navegador instalado e acesso à internet.

Uma das mais destacadas características do PHP é interagir com uma grande quantidade de banco de dados. Com isto, escrever uma aplicação web que interaja com um banco de dados é extremamente simples, sendo que um recurso avançado desta linguagem é permitir conexões persistentes de banco de dados, minimizando assim a necessidade de constantes conexões, operações custosas e que aumentam o tempo de resposta das aplicações (Klaver, 2006).

O uso da informática e programas computacionais no setor agrícola permite atingir objetivos específicos na área. Na mecanização agrícola, por exemplo, a seleção de máquinas e implementos agrícolas adequadas ao sistema de produção é um processo bastante complexo e pode ser auxiliado por meio da informática.

Objetivando a elaboração de programas computacionais, especificamente com a finalidade de otimizar as etapas do sistema produtivo, reduzindo os custos da operação, impacto ambiental e perdas, e aumentando o lucro e produtividade do produtor, o objetivo deste trabalho foi desenvolver um programa computacional para calcular a correta distribuição de massa no trator para atingir a maior eficiência tratória visando otimização da operação com redução de consumo, tempo de operação, custo operacional, redução da compactação do solo e desgaste prematuro de pneus e rolamentos, além de melhor aproveitamento da potência dos eixos tratórios .

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 Mecanização agrícola**

A intensificação do uso de máquinas agrícolas, no Brasil, começou a partir da década de 60, fruto do processo de modernização da agricultura, tendo o trator agrícola como eixo da mecanização na agricultura moderna. Em relação ao trabalho manual, o uso do trator agrícola reduziu de forma significativa a carga física a qual o trabalhador encontrava-se submetido, tornando-se responsável por uma parcela significativa do aumento da capacidade de produção agrícola e, por outro lado, também pelo aumento do consumo de energia nas atividades de campo (Jesuino, 2007).

Uma das principais funções dos tratores agrícolas é transformar a energia química contida nos combustíveis e fornecê-la na forma de energia mecânica, através da força produzida na barra de tração, utilizada para tracionar máquinas e equipamentos agrícolas. Embora, o trator também possa ser utilizado para prover

energia através da tomada de potência ou por meio do sistema hidráulico (Monteiro, 2008).

Com o aumento das populações, com a necessidade de se produzir mais alimentos e com um número cada vez menor de pessoas empregadas na agricultura, as operações agrícolas começaram a ser mecanizadas (Garcia, 1998).

Em 1900, produtores rurais representavam 38% da mão-de-obra dos Estados Unidos. No final do século, este número caiu para 3%, fato que representa uma evidência dramática da evolução da agricultura provocada pela mecanização. Iniciando com motores de combustão interna e movimentando com pneus de borracha, que impediam o deslizamento em solos barrentos, a mecanização também proporcionou o desenvolvimento de implementos agrícolas projetados para operações desde o preparo do solo à colheita. O advento da colhedora autopropelida, por exemplo, introduziu uma forma eficiente, economicamente, de colher e separar grãos. No final do século, em torno de 1994, a agricultura de precisão se tornou prática, combinando o conhecimento das formas de cultivo dos produtores com a tecnologia baseada em posicionamento global (National Academy of Engineering, 2009).

Atualmente, o uso de máquinas na agricultura tem duas grandes metas – aumentar a produtividade por agricultor e modificar a feição do trabalho agrário, tornando-o menos árduo e mais atraente. Praticamente todas as operações agrícolas empregadas na instalação de uma cultura, desde o preparo do solo à colheita, podem ser mecanizadas e apresentam grande eficiência e retorno econômico ao produtor, desde que bem conduzidas, empregando tecnologia e maquinário adequado.

Porém, é necessário que o conjunto trator e máquina agrícola esteja bem dimensionado para proporcionar elevada capacidade operacional, redução de custos e tempo. Espera-se, também, redução da compactação do solo e das operações agrícolas envolvidas e otimização do índice de patinação. Por isto, máquinas e implementos agrícolas, quando utilizados de forma racional, podem contribuir significativamente para elevar o desempenho da agricultura.

A grande variedade de máquinas agrícolas disponíveis hoje para realizar estas operações permite ao agricultor uma escolha adequada para atender a sua

demanda. Porém, as características de cada modelo variam e podem interferir no desenvolvimento da cultura.

A utilização de máquinas e implementos agrícolas mal dimensionados, que exceda em dimensões a demanda necessária, como tamanho e potência, para realização das operações acarreta em um aumento considerável do custo final pela subutilização dos equipamentos. Isto porque o custo de mecanização pode incidir em até 40% sobre o custo de produção, sendo então um item de importância na racionalização econômica da produção pelo uso inadequado da mecanização agrícola, isto pode resultar na elevação dos custos e dos preços dos produtos (Cultivar, 2009). Em contrapartida, a redução do sistema mecanizado a uma capacidade abaixo da demandada pode causar a inviabilidade da execução das operações nos prazos estipulados e, conseqüentemente, causar prejuízos na qualidade e/ou quantidade do produto.

O planejamento das operações agrícolas através de modelos de dimensionamento otimiza o aproveitamento do maquinário agrícola, aumentando a produtividade e reduzindo desperdícios. O dimensionamento da frota de máquinas e implementos para as etapas do sistema de produção possibilita aumentar o desempenho do serviço mecanizado, além de reduzir os custos de cada operação, assegurando maior retorno aos investimentos realizados. Muitos modelos de dimensionamento mecânico já existem, sendo que a grande maioria ainda funciona através de planilhas manuais e não permitem uma flexibilidade de cálculos com mais variáveis determinantes para específicos tipos de produções (Zanoni et al., 2007).

## **2.2 Adequação de sistemas mecanizados**

Segundo Zanoni et al. (2007), algumas operações agrícolas conseguiram extraordinário avanço em termos de mecanização, existindo praticamente um equipamento para cada situação. As indústrias de máquinas, implementos e ferramentas, além do contínuo aperfeiçoamento, estão atentas, e, de pronto, respondem às solicitações do setor produtivo.

A utilização de máquinas e implementos que excedam em número e tamanho a demanda necessária para realização das operações agrícolas resulta num aumento considerável do custo final pela baixa utilização dos equipamentos.

Isto porque, o sistema mecanizado representa cerca de 20% a 40% do custo total de produção de uma determinada cultura, e seu uso inadequado, devido a um mau dimensionamento, pode resultar na elevação dos custos e dos preços dos produtos. Por outro lado, reduzir o sistema mecanizado a uma capacidade abaixo da recomendada pode inviabilizar a execução das operações nos prazos estimados e, conseqüentemente, causar prejuízos na qualidade e/ou quantidade do produto (Zanoni et al., 2007).

O peso do trator, o tipo de rodado e as condições da superfície do solo são os fatores que mais afetam a patinação das rodas motrizes, a velocidade de deslocamento, a potência desenvolvida e o consumo de combustível, parâmetros que expressam o desempenho do trator. A otimização ou compatibilização desses parâmetros é especialmente influenciada pela lastragem do trator, a qual se reflete imediatamente em força de tração. A capacidade dos pneus em liberar potência na barra de tração ou no engate de três pontos é determinada pela carga sobre as rodas de tração, podendo-se dizer, dentro de certos limites, que máquinas mais pesadas tracionam mais. A maioria dos usuários gostaria que seu trator tivesse versatilidade de uso nas diversas operações agrícolas e em diferentes condições de solo, isto é, um mesmo trator faria a aração, a gradagem, o plantio, o cultivo, ajudaria na colheita, no transporte de produtos e em outras tarefas, preferencialmente com a mesma lastragem. Esse procedimento, porém, não é o que deve prevalecer no uso do trator. A lastragem é mais necessária nas primeiras operações agrícolas (onde o esforço tratório é maior), do que nas seguintes, entretanto, por ser uma tarefa que exige tempo e maior esforço físico do operador, este normalmente não costuma remover ou adicionar lastros metálicos para atender a necessidade da operação agrícola. Às vezes, opta-se por uma condição média, onde é preciso administrar o excesso ou falta, a cada situação, com prejuízo no serviço realizado e no custo da manutenção, devido ao maior desgaste mecânico da transmissão. Os tratores agrícolas podem ser lastrados com água nos pneus (enchimento até  $\frac{3}{4}$  de seu volume) e com peças metálicas colocadas nas rodas de tração e na dianteira do trator. Em alguns tratores os lastros metálicos são usados na parte externa da roda e, em outros, os lastros metálicos são colocados interna e externamente à roda o que dificulta ainda mais a operação de lastragem, mudança de bitola e a troca de pneus quando necessários. As peças metálicas traseiras pesam cerca de 60 kg cada.

Os lastros utilizados na parte dianteira do trator embora pesem em torno de 40 kg cada, oferecem menos dificuldade de manuseio. O lastro líquido, em termos de tração é equivalente ao lastro metálico, com a vantagem de ser mais barato e facilitar a mudança de bitola. A lastragem insuficiente pode ocasionar problemas como excessiva patinagem das rodas, perda de potência de tração, desgaste acentuado dos pneus, alto consumo de combustível ou ainda baixa produtividade. Já a lastragem excessiva por outro lado pode ocasionar problemas como aumento da carga sobre a transmissão, perda de potência de tração, rompimento das garras dos pneus, compactação do solo, alto consumo de combustível e baixa produtividade. Para uma lastragem adequada é importante respeitar a capacidade de carga do pneu e a distribuição de peso do trator na condição estática, de acordo com sua configuração de tração e buscar a compatibilização do esforço necessário com a velocidade de trabalho e a patinagem (Cultivar, 2009).

A distribuição de peso entre as rodas dianteiras e traseiras afeta a estabilidade do trator. Em um trator 4 x 2, as rodas dianteiras devem conduzir peso suficiente para possibilitar adequado controle do esterçamento e evitar o empinamento para trás quando tracionando um implemento. No caso de implementos montados e semi-montados, a necessidade de carregar o eixo traseiro é menor porque eles transferem considerável quantidade de peso para a traseira do trator, que contribui para a tração. Os tratores 4 x 4 (rodas iguais), que são mais pesados, têm mais capacidade de tração do que os tratores 4 x 2 e, normalmente, estão prontos para o trabalho de campo sem necessidade de lastro adicional. A eficiência de tração (conversão de potência fornecida em potência útil) é afetada pela quantidade de lastro, e depende também da condição de superfície do solo. Em solo arenoso ou solto a faixa ótima de patinagem é de 13 a 16%, em solo firme e macio (já cultivado) varia de 10 a 13% e em solo duro varia de 8 a 10%, para tratores 4 x 2. Na prática, é comum observar-se dois exemplos indesejáveis: patinagem zero ou acima de 20%. Se a primeira representa o perigo de compactação (o trator está carregando peso desnecessário), a outra representa perdas de velocidade e de potência, enfim, perda de produtividade e maior gasto de combustível, pois o motor está liberando combustível para um trabalho que não está sendo feito (Cultivar, 2009).

Yanai et al. (1999) avaliaram em situação de campo, a influência dos fatores inflação (sob quatro níveis) e carga sobre o rodado motriz (sob quatro níveis), combinados com e sem o uso da tração dianteira auxiliar. O experimento, totalizando 32 tratamentos com três repetições, foi distribuído em blocos ao acaso. O trator estudado foi submetido a uma força de tração constante na barra de tração, imposta por outro trator. Os resultados evidenciaram a influência significativa da lastragem nos parâmetros patinagem e coeficiente de tração, que aumentaram com a redução da carga sobre o rodado. A pressão de inflação influenciou significativamente nos parâmetros patinagem, velocidade de deslocamento e potência na barra, sem, no entanto, apresentar tendência de comportamento. O uso da tração dianteira auxiliar mostrou vantagens significativas em relação aos mesmos parâmetros anteriores. A interação dos fatores pressão de inflação e carga sobre o rodado mostrou que determinadas combinações de pressão foram mais favoráveis para o desenvolvimento de maior velocidade e menor patinagem. As características relacionadas ao desempenho do motor (consumo horário e rotação do motor) não foram afetadas por nenhum dos fatores e/ou suas interações.

Lopes et al. (2003) compararam o consumo de combustível de um trator agrícola operando com pneus (radial, diagonal e de baixa pressão) em duas condições de lastragem (com e sem água nos pneus) e quatro velocidades de deslocamento. O experimento foi realizado na FCAV-UNESP, Jaboticabal, SP, em condição de preparo do solo com escarificador. Utilizou-se um trator 4x2 TDA, com potência de 89 kW (121 CV) no motor. Os pneus foram do tipo R1, com as seguintes características: radial (dianteiros: 14.9 R 26; traseiros: 620/75 R 30) diagonal (dianteiros: 14.9-26, traseiros: 23.1-30) e BPAF (dianteiros: 500/60-26.5; traseiros: 700/55-34). O delineamento experimental foi o de blocos casualizados, em esquema fatorial 3x2x4, com 24 tratamentos e 3 repetições. Os resultados evidenciaram vantagens para o trator quando equipado com pneus radiais. A condição de lastragem com água nos pneus ofereceu menor consumo específico. Observou-se também que o aumento da velocidade de deslocamento reduziu o consumo específico.

Schlosser et al. (2005) estudaram os tratores agrícolas brasileiros no que se refere ao peso, visando obter dados que auxiliem na seleção e no seu uso adequado. O levantamento englobou 103 modelos de tratores comerciais das

marcas Massey Ferguson, Agrale, New Holland, John Deere, Ursus e Valtra. Foram analisados os parâmetros peso e relação peso/potência, separadamente em diferentes marcas, tipo de tração e faixas de potência. A análise estatística foi feita através do teste t de Student. Foram observadas diferenças significativas para classificação de marcas e faixas de potência no parâmetro relação peso/potência, diferindo também no critério tipo de tração quando analisado o peso. Além disso, verificou-se que a relação peso/potência sem lastro diminui com o aumento da potência. Portanto, os tratores agrícolas de rodas brasileiras são heterogêneos no que se refere ao peso e à relação peso potência, o que afeta o desempenho econômico dos mesmos, sendo importantes fatores a serem considerados na seleção e no uso destas máquinas.

### **2.3 Teoria da tração dos tratores agrícolas**

Liljedahl et al. (1995) relatam que o desempenho dos rodados no desenvolvimento da tração está relacionado com os parâmetros do solo, presença de resíduo ou cobertura morta, carga sobre o rodado e pressão do rodado. Nesse caso, a variação de um destes fatores irá interferir diretamente na capacidade de tração. Esse efeito foi evidenciado por Lopes et al. (2005) em um trabalho realizado para avaliar o desempenho de trator em função do tipo de pneu e lastro, chegando a conclusão de que a marcha utilizada, tipo de pneu e lastragem interferem diretamente na potência desenvolvida na barra de tração. Além do solo suportar a carga vertical que é gerada quando um veículo passa, este é o apoio à força tangencial gerada pelo torque que se transmite as garras dos pneus, e este apoio suporta a carga deformando-se dentro de certos limites considerados razoáveis, porém se romper ocorrerá o patinamento fazendo que o avanço do veículo seja cada vez menor chegando ao ponto de cessar o movimento. Se os rodados continuarem girando abrirá um sulco no solo até calçar nos eixos do trator.

#### **2.3.1 Pneus agrícolas**

Os pneus agrícolas são os componentes responsáveis pela transferência da potência gerada pelo motor dos tratores e da maioria das máquinas agrícolas auto propelidas ao solo, na forma de tração ou simplesmente locomoção,

influenciando nos resultados de desempenho operacional do trator em relação ao tipo de construção, pressão interna, carga aplicada, tipo de dispositivo de tração e do seu desgaste tendo relevante importância nos custos operacionais de campo e, principalmente, nos custos finais relacionados à eficiência.

Os pneus influenciam diretamente no desempenho do trator, no qual pode ser avaliado de diferentes formas, sendo a principal através da barra de tração. A eficiência no uso dessa força é limitada pela ação dos dispositivos de tração, que, nos tratores agrícolas, mais usualmente, são rodados pneumáticos.

Segundo Correia (1999), o pneu é projetado para suportar determinadas cargas com uma pressão de ar especificada, sendo que o correto ajuste da pressão interna dos pneus lhe garante maior vida útil. Os pneus utilizados na agricultura podem ser classificados de acordo com seu uso em: motrizes e diretrizes (para tratores e máquinas); e, transportadores (para implementos e máquinas). Quanto à pressão interna, os pneus podem ser classificados como: baixa pressão (50 a 150 kPa) e pressões normais (100 a 200 kPa).

Em relação ao tipo de construção da carcaça, os pneus agrícolas podem ser de construção diagonal ou radial, de acordo com a disposição geométrica das fibras.

O tipo de construção do pneu vai influenciar diretamente no desempenho a campo. Neujahr et al. (1998) compararam o desempenho de pneus diagonais e radiais no preparo de solos de várzea em um trator sem tração dianteira auxiliar, afirmando nas suas condições específicas que o pneu radial diminui o patinamento e aumenta a eficiência de tração. O patinamento dos pneus radiais apresenta uma redução de 37% em relação aos pneus diagonais, quando os pneus foram operados exercendo uma força de tração de 29,4 kN, sendo que a máxima eficiência de tração ficou entre 10% e 15% de patinamento nos dois tipos de pneus avaliados. A resistência ao rolamento nos pneus radiais foi inferior ao pneu diagonal na velocidade de 5,76 km.h<sup>-1</sup> e na menor velocidade avaliada, (2,88 km.h<sup>-1</sup>) a resistência ao rolamento dos dois pneus foi semelhante.

Coates (1985) comparou pneus diagonais e radiais, utilizando carga estática sobre os pneus de 26,6 kN em três velocidades, 7,2; 10,8 e 14,2 km.h<sup>-1</sup> em solo leve. Em seus resultados, ocorreram diferenças significativas nas velocidades de 7,2 e 10,8 km.h<sup>-1</sup>, com os pneus diagonais apresentando um maior patinamento do que os pneus radiais.

Conforme Lee e Kim (1997), a pressão interna tem papel fundamental na área de contato entre o pneu e o solo, além da distribuição da pressão na sua superfície, interferindo na capacidade trativa. O melhor desempenho dos rodados de um trator pode ser obtido pelo ajuste da pressão interna dos pneus de acordo com o tipo de solo e com as condições superficiais deste solo.

Sharma e Pandey (1996) afirmaram que as características de eficiência de um rodado dependem, em grande parte, não somente da pressão de contato, mas também do tamanho e do formato da área de contato, concluindo que, para um rodado pneumático, a aproximação elíptica é o melhor estimador para a área de contato pneu-superfície.

A utilização correta de pneus em tratores agrícolas, tanto em relação ao seu tipo quanto à calibração de sua pressão interna, e a lastragem ideal para cada condição de carga são fatores que influem significativamente no desempenho do trator.

### **2.3.2 Patinamento das rodas motrizes**

A patinação das rodas motrizes nos tratores pode ser obtida através da diferença entre as suas rotações com e sem carga no trator, representando os percursos do trator tracionando um implemento e aquele nas mesmas condições depois de desacoplado o implemento (Mialhe, 1996).

O solo nem sempre é capaz de suportar a carga vertical que se necessita para poder utilizar todo o torque que chega as rodas, já em outras vezes, embora dentro de alguns limites suportáveis, a força de tração cai de forma considerável.

Nos tratores agrícolas, o patinamento dos rodados ocorre devido a diversos fatores, entre eles o esforço de tração necessário para deslocar determinado equipamento e o tipo de superfície em contato com a banda de rodagem dos pneus motrizes.

Com o aumento da força horizontal que se aplica as rodas motrizes para o mesmo peso aderente, ocorre um aumento no patinamento. Com o aumento do patinamento, ocorre uma perda de velocidade do trator, conseqüentemente um menor rendimento global da transformação da potência do motor em potência de tração.

Schlosser (1996) descreve que as perdas de potência estão diretamente relacionadas com o patinamento das rodas traseiras, não dependendo do tipo de tração empregada ou da distribuição de peso.

Em um estudo realizado para se obter a máxima eficiência de tração com um menor consumo específico de combustível, em um trator Massey Ferguson 3080, Jenane et al. (1996) recomendaram que o trator deveria trabalhar com um coeficiente de tração dinâmico (relação usada para expressar o aproveitamento da massa do trator em relação à força exercida na barra de tração) de no mínimo de 0,4. Ainda, neste trabalho, avaliando o patinamento de um trator agrícola, os autores concluíram que o trator, quando trabalhava com patinamento fora do ideal, havia uma redução considerável na potência disponível na barra de tração.

Estima-se que entre 50 a 60% do peso de um trator pode ser convertido em esforço de tração, por exemplo: um trator de 4.000 kg pode tracionar até 2400 kgf na sua barra de tração, mas para isso ocorrer, há uma dependência de uma série de fatores. De acordo com Lanças e Upadhyaya (1997), para que ocorra tração é necessário que exista patinamento, entretanto, caso esta ultrapasse determinados limites, pode ocorrer perda da aderência e redução da tração dos rodados.

O patinamento das rodas motrizes pode ser determinado através de uma equação, que leva em consideração a variação da velocidade de deslocamento da roda em relação à velocidade dada em uma condição de referência.

O patinamento pode ser expresso pela seguinte equação (ASAE, 2003a):

$$\delta = \frac{A_n - A_1}{A_n} 100 \quad (1)$$

Em que,

$\delta$  - patinagem do pneu, %;

$A_n$  - avanço em condições sem carga por revolução da roda, m; e

$A_1$  - avanço em condições com carga por revolução da roda, m.

### 2.3.3 Resistência ao rolamento

Segundo Mialhe (1991), a resistência ao rolamento é definida como a resistência passiva que se opõe ao movimento dos rodados dos tratores e tem origem na deformação provocada no solo e no próprio rodado.

Para o trator avançar, primeiramente tem que vencer a resistência ao rolamento e para poder tracionar um implemento, o motor fornece um torque as rodas e estas, a transformam em uma força tangencial, na qual o solo deve suportar sem romper-se dentro de certos limites. Se não há potência suficiente para que o torque das rodas permita vencer a resistência ao rolamento, ou se o solo não tiver resistência suficiente, o trator não avançará.

O peso do trator interfere diretamente na resistência ao rolamento que se dá em função do afundamento do pneu no solo e também pela deformação que ocorre dos pneus ao se deslocarem sobre ele. Por isso, quanto menor o peso do trator, menor será a perda por resistência ao rolamento, agora quanto mais solto for solo e maior for o peso do trator, maior será a resistência ao rolamento.

Schlosser (1996) relata que as perdas por resistência ao rolamento, quando se expressam em função do patinamento das rodas traseiras se relacionam com o modo de utilização da tração, com a distribuição de peso e com as condições do solo. Esse mesmo autor descreve que em um trator de tração simples com muito peso na parte frontal, as maiores perdas de potência são devidas a resistência ao rolamento das rodas dianteiras porque estão muito carregadas, e pode-se diminuir este efeito colocando-se mais peso nas rodas motrizes. Já em um trator com tração dianteira auxiliar conectada, a resistência ao rolamento parece não ter relação com a distribuição de peso.

Quando se aumenta o peso de lastro no trator para que este consiga utilizar todo o torque produzido, aumenta-se de forma considerável a resistência ao rolamento, fato este muito comum quando utilizam marchas mais baixas, por isso é importante que velocidades mais baixas devam ser usadas em trabalhos que realmente necessitam, pois o aumento de lastro além de elevar resistência ao rolamento também causa o aumento no patinamento e no consumo de combustível.

A resistência ao rolamento pode ser expressa pela Equação 2 (Pranav e Pandey, 2008):

$$R = PK \quad (2)$$

Em que,

$R$  - resistência ao rolamento, N;

$P$  - peso do trator, N; e

$K$  - coeficiente de resistência ao rolamento.

#### **2.3.4 Transferência de peso**

No caso de tratores sem tração dianteira auxiliar, o torque produzido pelo motor chega multiplicado as rodas traseiras em função da relação de transmissão utilizada, gerando uma força tangencial no momento que encontra apoio no solo, e ao vencer a resistência ao rolamento, faz avançar o trator, realizando um esforço de tração.

A carga dinâmica do conjunto trator e implemento e a força de tração permitem construir um polígono de forças com as reações do solo e das rodas dianteiras resultando soma  $F_i$  igual a zero, como pode ser visualizado na Figura 1.

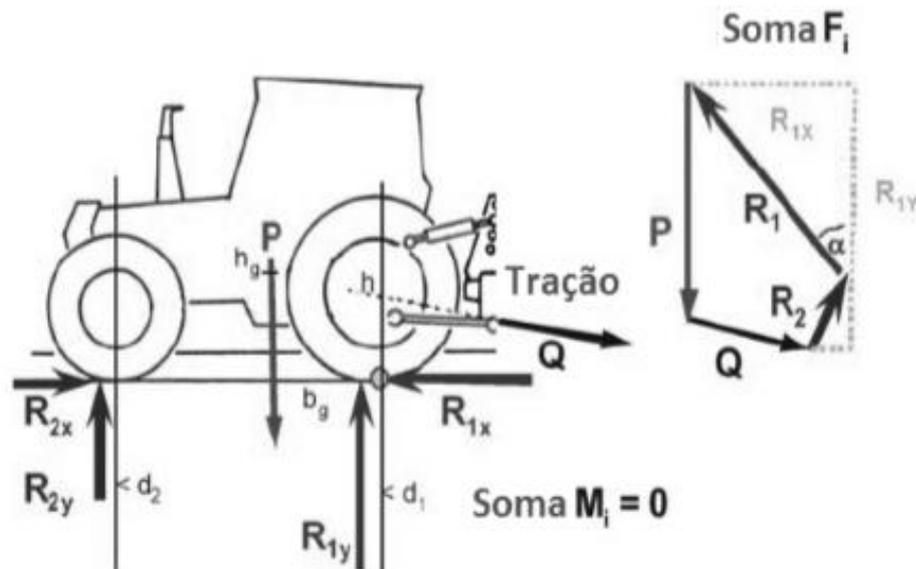


Figura 1. Carga dinâmica do conjunto trator e implemento, força de tração e polígono de forças (Linares, 2001).

O peso dinâmico do trator é a força total normal ao plano da superfície, portanto, não alterada, exercida sobre o elemento de tração ou transporte em condições de trabalho (Pranav e Pandey, 2008).

Segundo os autores, na condição dinâmica, outras forças interferem sobre a distribuição de pesos do trator, que são o esforço de tração desenvolvido na barra de tração ou engate tripontual, a resistência ao rolamento das rodas e o torque de rotação de roda. Também influencia na distribuição o ângulo de inclinação do terreno e ângulo de inclinação da força de tração na barra.

O comportamento do peso dinâmico sobre os eixos se modifica continuamente em função das condições de trabalho. Como a capacidade de tração depende da resistência do terreno para suportar forças tangenciais, e esta é em função da carga axial (peso), interessa ter peso aderente suficiente nas rodas motrizes para a força que se deseja produzir. Nos tratores de tração tangenciais, e esta é em função da carga axial, interessa ter peso aderente suficiente nas rodas motrizes para a força que se deseja produzir. Nos tratores de tração simples o peso sobre o eixo dianteiro não ajuda na tração, antes disso, oferece uma resistência ao avanço, tanto maior quanto mais pesado.

A transferência de peso como sendo a diminuição do peso de um eixo em benefício do outro. Quando o terreno é inclinado, o peso dinâmico se soma à componente vertical da força de tração.

Os componentes das forças envolvidas na condição dinâmica de um trator quando realiza tração pode ser visualizada na Figura 2, de acordo com Linares (1996).

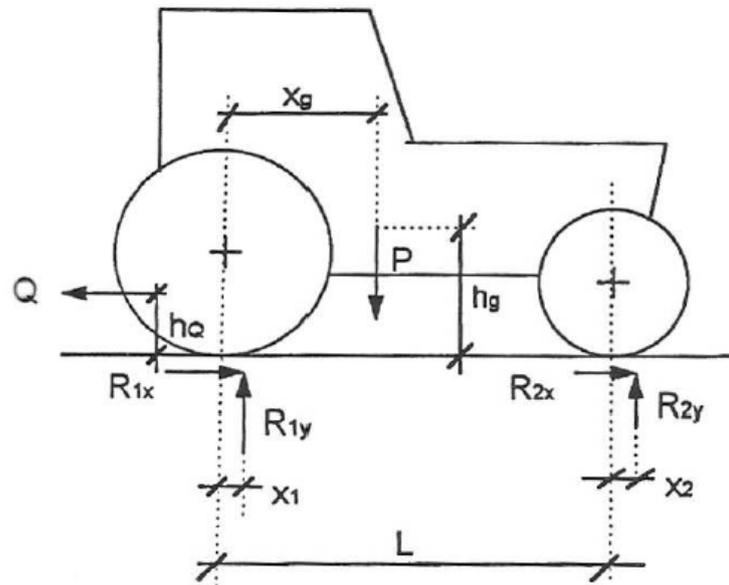


Figura 2. Sistema de forças envolvido no equilíbrio de tração, em que:  $P$  – peso do trator (N),  $Q$  – força horizontal de tração (N),  $L$  – distância entre eixos (m),  $R_{1x}$  e  $R_{2x}$  – reações horizontais do solo (N),  $R_{1y}$  e  $R_{2y}$  – reações verticais do solo (N),  $h_g$  – altura do centro de gravidade (m),  $h_Q$  – altura do ponto de engate (m),  $x_g$  – abscissa do centro de gravidade (m),  $x_1$  e  $x_2$  – distâncias entre linha do eixo e reação vertical (m).

A dinâmica do sistema de forças de um trator durante a realização de uma força de tração pode ser demonstrado através de equações. As equações para o cálculo de transferência de peso entre os eixos na condição dinâmica em um terreno horizontal desenvolvidas são apresentadas a seguir (Linares et al., 2006).

O equilíbrio de forças é apresentado pelas equações 3, 4 e 5.

$$\sum F = 0 \quad (3)$$

$$P = R_{1y} + R_{2y} \quad (4)$$

$$Q = R_{1x} + R_{2x} \quad (5)$$

O equilíbrio de momentos é apresentado pelas Equações 6 e 7.

$$\sum Mo = 0 \quad (6)$$

$$P \cdot X_g - R_{1y} \cdot X_1 - R_{2y} \cdot (L + X_2) - Q \cdot h_Q = 0 \quad (7)$$

A reação das forças verticais é apresentada pelas Equações 8 e 9.

$$R_{2y} = \frac{P \cdot X_g}{L} - \frac{M_K}{L} - \frac{Q \cdot h_Q}{L} \quad (8)$$

$$R_{1x} = \frac{P \cdot (L - X_g)}{L} + \frac{M_K}{L} - \frac{Q \cdot h_Q}{L} \quad (9)$$

A resistência ao rolamento é apresentada pela Equação 10.

$$M_K = R_{1y} \cdot X_1 + R_{2y} \cdot X_2 \quad (10)$$

Em que,

$P$  – peso do trator, N;

$Q$  – força horizontal de tração, N;

$L$  – distância entre eixos, m;

$R_{1x}$  e  $R_{2x}$  – reações horizontais do solo, N;

$R_{1y}$  e  $R_{2y}$  – reações verticais do solo, N;

$hg$  – altura do centro de gravidade, m;

$Xg$  – abscissa do centro de gravidade, m;

$hQ$  – altura do ponto de engate, m;

$Mk$  – resistência ao rolamento, N;

$\sum F$  – resultante de forças, N; e

$\sum Mo$  – resultante dos momentos, N.

A transferência de peso do eixo dianteiro para o traseiro, provém em parte do esforço de tração realizado, e outra por resistência ao rolamento que o solo realiza contra ao avanço das rodas.

O peso de lastro interfere de forma significativa no desempenho do trator. O aumento de lastro provoca um aumento também na força de tração, ao mesmo tempo que diminui o coeficiente dinâmico de tração, exceto para tratores com tração dianteira auxiliar.

Nesse contexto, existem equações que podem estimar o peso máximo que o trator pode ter em função da sua potência e, portanto, determinar a velocidade de trabalho ideal, ou seja, a velocidade mínima de deslocamento (velocidade crítica) para que o trator consiga utilizar toda a sua potência. Esses valores devem estar dentro de certos limites de tolerância a fim de garantir que não haja um esforço demasiado do motor, tendo como consequência um desgaste prematuro.

### **2.3.5 Teorias preditivas do trator em tração**

Conforme Linares et al. (2006), os primeiros ensaios para a barra de tração eram realizados em solos agrícolas, porém a dificuldade em transferir os resultados para os diferentes tipos de solo e condições de trabalho tornou necessário que os ensaios passassem a serem realizados em pistas de concreto, mesmo sabendo-se que as condições de trabalho em um solo agrícola diferem substancialmente dos ensaios em pista.

Segundo Souza Filho (2001), em diversas situações, estudou-se uma forma prática de determinar uma eficiente maneira de diferenciar a qualidade de tração dos tratores. Dessa forma surgiram algumas teorias de predição, que em comum têm o objetivo de prever o comportamento de vários parâmetros de rendimento. Essas teorias são fundamentadas através de equações, que se baseiam em diversos parâmetros, que podem ser medidos direta e indiretamente e que caracterizam de maneira conjunta o solo e a máquina.

A seguir, são descritas as principais teorias, conforme Souza Filho (2001).

a) Teoria  $C_n$  (ASAE) – Wismer e Luth

Essa teoria considera que a relação entre o solo e o veículo é determinada por um parâmetro denominado número característico da roda ( $C_n$ ), o qual contempla valores de três elementos principais: solo, com seu respectivo índice de cone, peso dinâmico e o pneu com suas respectivas medidas.

O  $C_n$  pode ser determinado pela Equação 11.

$$C_n = \left( \frac{CI \cdot b \cdot d}{R_y} \right) \quad (11)$$

Em que,

$C_n$  - número característico da roda;

$R_y$  - peso sobre a roda, kN;

$b$  - largura da roda, m;

$d$  - diâmetro total da roda, m; e

$CI$  - índice de cone do solo, kPa.

O coeficiente de resistência ao rolamento pode ser determinado pela Equação 12.

$$k = \left( \frac{1,2}{C_n} \right) + 0,04 \quad (12)$$

Em que,

$k$  - coeficiente de resistência ao rolamento.

Através da determinação do coeficiente resistência ao rolamento, pode-se determinar a resistência ao rolamento utilizando a Equação 13.

$$R_k = R_y \cdot K \quad (13)$$

Em que,

$Rk$  - resistência ao rolamento, kN.

O coeficiente de força tangencial pode ser determinado pela Equação 14.

$$\mu_t = 0,75(1 - e^{-0,3.Cn\delta}) \quad (14)$$

Em que,

$\mu_t$  - coeficiente de força tangencial;

$Cn$  - número característico da roda;

$\delta$  - patinamento, em decimal.

O patinamento pode ser determinado pela Equação 15.

$$\delta = \left[ \left( \frac{1}{0,3.Cn} \right) \cdot \text{Ln} \left( \frac{0,75}{0,75.\mu_t} \right) \right] \cdot 100 \quad (15)$$

#### b) Teoria Bn – Brixius e Wismer

Esta teoria esta baseada na anterior, porém com a introdução de um novo parâmetro que se denomina número característico de mobilidade (Bn), baseado no Cn da teoria ASAE, que se pode calcular pela Equação 16.

$$Bn = Cn \left( \frac{1 + 5 \cdot \frac{\Delta}{h}}{1 + 3 \cdot \frac{b}{d}} \right) \left\{ \Delta \left( \frac{d}{2} - r_c \right) \cdot \frac{P_r}{P_{máx}} \prec h = \frac{d - d_{LL}}{2} \right. \quad (16)$$

Em que,

$Bn$  - número característico da mobilidade;

$\Delta$  - deflexão do pneu; m;

$h$  - altura da seção teórica, m;

$b$  - largura da roda, m;

$d$  - diâmetro da roda, m;

$d_{LL}$  = diâmetro do aro, m;

$r_c$  - raio estático sob carga máxima do pneu em superfície firme, m;

$P_r$  - peso por roda durante os ensaios, N; e

$P_{máx}$  - peso máximo por roda, N.

O coeficiente de resistência ao rolamento ( $k$ ) pode ser calculado pela Equação 17.

$$k = \frac{1}{Bn} + 0,04 + \frac{0,5\delta}{\sqrt{Bn}} \quad (17)$$

Através da determinação do coeficiente de resistência ao rolamento, pode-se chegar à resistência ao rolamento (Equação 18).

$$Rk = Ry \cdot K \quad (18)$$

O coeficiente de força tangencial ( $\mu_t$ ) pode ser calculado pela Equação 19.

$$\mu_t = 0,88 \cdot (1 - e^{-0,1Bn}) \cdot (1 - e^{-7,5\delta}) + 0,04 \quad (19)$$

O patinamento ( $\delta$ ) pode ser calculado pela Equação 20.

$$\delta = \frac{1}{7,5} \cdot \ln \left\{ \frac{0,88 \cdot (1 - e^{-0,11 \cdot Bn})}{[0,88(1 - e^{-0,11 \cdot Bn})] + 0,04 - \mu_t} \right\} \cdot 100 \quad (20)$$

### c) Teoria Mn – Gee-Clough

Esta teoria é formada por uma série de equações que passam a ser reconhecidas como uma única teoria. Foi criado um parâmetro entre o solo e o veículo chamado de número de mobilidade (Mn).

O número de mobilidade pode ser calculado pela Equação 21.

$$Mn = Cn \sqrt{\frac{\Delta}{h}} \cdot \frac{1}{1 + \frac{b}{2 \cdot d}} \quad (21)$$

O coeficiente de resistência ao rolamento ( $k$ ) pode ser calculado pela Equação 22.

$$k = 0,049 + \frac{0,289}{Mn} \quad (22)$$

Através da determinação do coeficiente de resistência ao rolamento pode-se chegar à resistência ao rolamento ( $Ry$ ) (Equação 23).

$$Rk = Ry \cdot K \quad (23)$$

O coeficiente de tração líquida pode ser calculado pela Equação 24.

$$\mu_n = \mu_{n\max} \cdot (1 - e^{-K\delta}) \left\{ \begin{array}{l} \mu_{n\max} = 0,796 - \frac{0,92}{Mn} \\ k' \cdot \mu_{n\max} = 4,838 + 0,061 \cdot Mn \end{array} \right\} \quad (24)$$

Em que,

$\mu_n$  - coeficiente de tração líquida, e

$\mu_{n\max}$  - coeficiente de tração máximo.

O coeficiente de força tangencial pode ser calculado pela Equação 25.

$$\mu_t = \mu_n + k \quad (25)$$

O patinamento pode ser calculado pela Equação 26.

$$\delta = \frac{1}{k} \ln \left( \frac{\mu'_{n\max}}{\mu_{n\max} + k - \mu_t} \right) \cdot 100 \quad (26)$$

As diferenças entre as três teorias, segundo Catalán (1993), se dão em função da complexidade das equações e da confiabilidade dos valores obtidos. O autor relata que a teoria Gee-Clough apresenta maior complexidade com melhores resultados, já as teorias Wismer e Luth e de Brixius e Wismer apresentam dados com menor confiabilidade.

Em um trabalho realizado por Márquez (1990), este utilizou as teorias de predição para prever, em condições padronizadas (pista de concreto), o comportamento de um trator aproveitando dados de ensaios de tratores em dinamômetros. Este concluiu que as teorias podem ser aplicadas para a

média das situações ou para uma determinada situação local, gerando a necessidade de aplicação destas teorias em outros meios. Resposta semelhante encontrou Souza Filho (2001), em um trabalho de avaliação destas teorias de predição, chegando à conclusão que existe muita variabilidade entre os resultados comparativos. O índice de cone interferiu diretamente nos resultados, sendo as teorias Brixius e Wismer e de Gee-Clough as menos sensíveis a esse parâmetro em relação a teoria Wismer e Luth.

## **2.4 Programas computacionais voltados para a área agrícola**

No setor agropecuário, existe uma grande quantidade de informação que necessita ser manipulada, acessada de forma rápida e eficiente. O uso dos computadores nesta área aumentou consideravelmente nos últimos anos, tornando-se acessível ao produtor devido, principalmente, à facilidade na aquisição dos equipamentos.

O uso de computadores na agricultura pode contribuir com um aumento significativo na produtividade, porém, uma resistência ainda existe por parte dos agricultores em acolher esta tecnologia. Outro fato que ainda ocorre é que os investimentos em modernização causam, em curto prazo, uma redução na margem de lucros na atividade agropecuária, causando um atraso contínuo na adoção dessa nova tecnologia.

Segundo Paglis (2009), a adoção da informatização na fazenda não é a solução para todos os problemas da propriedade. Se não houver um bom controle na fazenda, ainda que manualmente, através de escrituração adequada, não adianta nada informatizar. Isso representaria um problema ainda maior, pois as informações geradas seriam oriundas de dados não confiáveis, o que certamente originaria informações improcedentes e de pouca valia ao processo produtivo. Esse tipo de erro já foi cometido muitas vezes no passado e foi, sem dúvida, um dos responsáveis pela falta de credibilidade inicial que os agricultores apresentaram em relação a essa nova ferramenta. Talvez isso explique, em parte, a resistência em sua adoção. Deve-se ter em mente que a informatização da propriedade agrícola é um meio e não um fim.

Mesmo assim, o uso dos computadores em vários segmentos agrícolas tem aumentado nos últimos anos e as principais razões para seu uso, que são

relatadas pelos produtores, tem sido a necessidade de um melhor controle das atividades durante o processo produtivo, melhor gerenciamento e organização das empresas e mais agilidade e facilidade na obtenção de informações.

Da mesma maneira que há motivos para sua adoção, muitos produtores relatam a falta de treinamento e assistência técnica, falta de programas adequados e simples, dificuldade na obtenção de dados e custo dos programas computacionais, como problemas ou dificuldades para adoção do uso da informática (Paglis, 2009). A utilização dos computadores na agricultura pode ser um ponto positivo no aumento da produtividade. Porém, seu uso pode trazer vantagens e desvantagens.

Como vantagens, se podem mencionar a confiabilidade dos dados obtidos e gerados, armazenamento de informações, velocidade na execução de cálculos, comunicação interna e externa, exigência de um sistema de trabalho bem definido e expansão do potencial da fazenda. Como desvantagens, citam-se o custo de aquisição do sistema computador e programa, a necessidade do sistema ser adequado à demanda do produtor, a necessidade de acompanhamento técnico na elaboração e implementação dos programas, a exigência de pessoal treinado ou o gasto com treinamento de pessoal e a necessidade de um sistema de coleta de dados eficiente.

Durante a etapa de implantação da informática, é muito comum haver, em certas circunstâncias, problemas com a utilização do equipamento e dos programas. Vários produtores compram equipamentos certos de que o processo de informatização está resolvido, não tendo, porém, o conhecimento de que sem programas apropriados o sistema adquirido não funcionará da forma desejada, causando, conseqüentemente, a frustração.

Programas computacionais específicos para a demanda do campo são necessários e um estudo preliminar pode ser feito visando atingir a melhor satisfação e utilização por parte do produtor rural. Tudo em prol dos objetivos finais, que são redução de despesas e aumento de produtividade.

Neste aspecto, o desenvolvimento de programas computacionais tem sido realizado permitindo inúmeros propósitos específicos, e a seleção de máquinas e implementos agrícolas adequados ao sistema de produção é um destes.

A operação de colheita é uma operação crítica que pode sofrer atrasos, resultando em perdas na quantidade e na qualidade do material colhido.

Normalmente os produtores empregam colhedoras com reserva de capacidade para concluir a operação no menor prazo possível. Segundo Borges et al. (2006), o excesso de capacidade aumenta os custos fixos, e a falta dela aumenta os custos das perdas por atraso e, em ambos os casos, reduz a renda líquida da operação, ao que se denomina custo de pontualidade. O problema do dimensionamento consiste em ajustar o custo do capital extra investido na capacidade da máquina para garantir a pontualidade e o custo das perdas por atraso, buscando maximizar a renda líquida.

A seleção de pulverizadores agrícolas que se adaptem às necessidades da propriedade é um processo trabalhoso, sendo uma das etapas mais importantes dentro do processo produtivo. Neste sentido, Baio et al. (2004) desenvolveram e utilizaram um modelo de programação linear com o objetivo de auxiliar na seleção de pulverizadores agrícolas de barras, baseado no menor custo horário do equipamento. Foram utilizadas as informações técnicas referentes a 20 modelos de pulverizadores disponíveis no mercado, sendo quatro autopropelidos, oito de arrasto e oito do tipo montado. A análise de sensibilidade dos componentes dos custos operacionais mostrou que as taxas de reparo e depreciação foram os fatores que mais interferiram na variação do custo horário do conjunto trator pulverizador. O modelo matemático desenvolvido facilitou a realização da análise de sensibilidade que foi processada em um tempo muito pequeno.

Com a finalidade de avaliar a influência do atraso no dimensionamento da frota e no custo da operação de colheita, devido à importância da cultura e da pontualidade, Borges et al. (2006) avaliaram a influência do atraso no dimensionamento da frota e no custo da operação de colheita. Para tanto, desenvolveram um modelo computacional em linguagem Borland® Delphi 5.0, em que a entrada de dados inclui os atributos da região agroclimática, da colhedora e das cultivares de soja. O resultado é a renda líquida como indicador da pontualidade na operação para a colhedora selecionada. O programa foi utilizado para simular cenários numa propriedade na região de Ponta Grossa - PR, e os valores obtidos revelaram que a frota de colhedoras da propriedade opera com capacidade ociosa, produzindo renda líquida abaixo do potencial.

Zanoni et al. (2007) propuseram um trabalho com o objetivo de desenvolver e implementar um sistema computacional orientado a objetos na

linguagem Java, capaz de realizar o dimensionamento mecânico de um sistema de produção agrícola, utilizando informações de máquinas e implementos armazenados em um banco de dados. Foi possível, com a utilização do sistema desenvolvido, reduzir o longo tempo que era necessário para efetuar os cálculos para cada operação do sistema de produção agrícola em análise.

Com o objetivo de selecionar um sistema de mecanização agrícola visando atender às exigências técnicas e econômicas de uma propriedade agrícola, Lopes et al. (1995) desenvolveram um programa computacional em linguagem Pascal. Sua viabilidade foi testada em função de dados reais obtidos em sedes de propriedades agrícolas, apresentando resultados satisfatórios nas condições em que foi testado, mesmo utilizando parâmetros para condições diferentes daquelas da agricultura no Brasil, constituindo-se, portanto, em ferramenta de grande utilidade na seleção do sistema de mecanização agrícola. Concluíram que os resultados fornecidos pelo programa minimizaram o custo operacional e atenderam as exigências técnicas impostas pelas propriedades agrícolas.

Narciso (2008) desenvolveu um trabalho com o objetivo de descrever e mostrar a importância de um banco de dados espaço-temporal para a disponibilização de dados sobre a cultura de milho e o sistema de apoio à decisão Pró-Milho, conforme preceitos da agricultura de precisão. Segundo o autor, com a utilização de um banco de dados espaço-temporal, é possível integrar dados referentes a parâmetros físicos, químicos e biológicos do solo, referentes a uma dada cultura, possibilitando ao usuário fazer consultas importantes ou fazer simulações. Ele afirma ainda que um sistema de apoio à decisão poderá fornecer para o usuário uma previsão da produtividade esperada para área, considerando o máximo de variáveis relevantes que atuam sobre a planta.

Martins et al. (2004) realizaram um trabalho onde se registrou os procedimentos e os resultados obtidos pelo desenvolvimento e implementação de um programa computacional para gestão da logística de captação de leite na Cooperativa Agropecuária Castrolanda, PR. Tal preocupação tem referências na reestruturação experimentada pelo setor e no processo de coleta à granel, que viabilizou a implementação de nova logística. Concomitantemente a isto, os custos de captação têm se elevado substancialmente, com o aumento das distâncias percorridas para a obtenção de volumes crescentes da matéria-prima.

Os produtores avaliados foram agregados em cinco áreas geográficas e o modelo utilizou a heurística das economias de Clarke e Wright, minimizando a distância total percorrida, como uma função dos custos de transporte, sujeita às restrições de produção nas propriedades, capacidade dos tanques, tipo de caminhão acessível nas estradas principais, secundárias e nas vias de acesso. As principais conclusões que podem ser extraídas deste trabalho referem-se às vantagens oferecidas pelo modelo desenvolvido em relação às sistemáticas empíricas e aos modelos comerciais importados, e que foram originalmente desenvolvidos para solucionar problemas de otimização de captação de lixo urbano ou de distribuição de gás de cozinha. Por outro lado, sinalizou-se para a economicidade da coleta à medida que seja ampliada a capacidade de armazenamento nas propriedades e que sejam utilizadas mais carretas na coleta e bitrens no transporte de longa distância.

Silva et al. (2002) apresentam a concepção de um sistema especialista baseado em regras, que se destina ao auxílio no diagnóstico de doenças que geralmente atacam macieiras e maçãs. O protótipo do sistema utiliza o conceito de ciclo de vida de um programa, conduzido pelas fases da Engenharia de Programas. O trabalho pretende contribuir com o desenvolvimento de aplicações da informática na agricultura para a melhoria da qualidade da produção.

Segundo Pavan (2002), a simulação e modelagem de sistemas, por ser uma das primeiras aplicações da informática na agricultura, apresentaram uma maior quantidade de trabalhos desenvolvidos. Atualmente, os revolucionários avanços tecnológicos na informática e a presença da internet, com sua conectividade global e a integração com linguagens de programação visual, têm produzido novos conceitos e caminhos a serem ainda explorados na produção e transferência do conhecimento em Fitopatologia.

A utilização dos computadores no acesso a redes, como a internet, tem sido uma poderosa ferramenta para os agricultores. Como um passo natural ao processo de informatização, o produtor passa a ter acesso a informações que antes eram praticamente impossíveis de serem obtidas. Hoje a utilização de portais especializados na área agrícola tornou-se um aliado importantíssimo do agricultor. Neles se pode ter acesso a informações de todo o tipo, desde técnicas até comercialização de produtos agrícolas.

O planejamento das operações agrícolas através de modelos de dimensionamento otimiza o aproveitamento do maquinário agrícola, aumentando a produtividade e reduzindo desperdícios.

Dimensionar a frota de máquinas e implementos para as etapas do sistema de produção possibilita aumentar o desempenho do serviço mecanizado além de reduzir os custos de cada operação, assegurando maior retorno aos investimentos realizados. Muitos modelos de dimensionamento mecânico já existem, a grande maioria ainda funciona através de planilhas manuais e não permitem uma flexibilidade de cálculos com mais variáveis determinantes para específicos tipos de produções (Zanoni et al., 2007)

Neste aspecto, o desenvolvimento de programas computacionais permite a seleção de máquinas e implementos agrícolas adequadas ao sistema de produção.

Pranav e Pandey (2008) desenvolveram um método abrangente e conciso para otimizar lastragem de tratores agrícolas incorporando modelos existentes, modelos teóricos e empíricos. O programa é baseado em windows e escrito em Visual Basic. Ele fornece um conjunto de painéis de entrada de dados associados com trator, solo, pneus e implementos. O programa calcula os parâmetros de desempenho do conjunto trator, incluindo o lastro ideal sobre os eixos traseiros e dianteiros.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi realizado no Laboratório de Engenharia Agrícola do Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, RJ.

Foi desenvolvido um programa computacional para determinar a lastragem de tratores agrícolas, visando a otimização de operações agrícolas, de modo a reduzir o custo e as perdas. O programa foi desenvolvido utilizando-se a linguagem *Hypertext Preprocessor* (PHP). O PHP é uma linguagem de programação de computadores interpretada, livre e muito utilizada para gerar conteúdo dinâmico na rede de alcance mundial (WWW, ou *World Wide Web*).

Utilizou-se o programa computacional Macromedia Dreamweaver MX para a edição da linguagem de marcação do hipertexto (HTML, ou *HyperText Markup Language*) e PHP do programa desenvolvido, sendo utilizado o banco de dados MySQL.

O banco de dados MySQL é um sistema de gerenciamento de banco de dados que utiliza a linguagem SQL (*Structured Query Language*, ou Linguagem de Consulta Estruturada) como interface. É atualmente um dos bancos de dados mais populares, com mais de 10 milhões de instalações pelo mundo. O navegador web solicita através do código em PHP que fica embutido no código HTML e executado internamente no servidor, sem exibição do código fonte para o usuário, após essa solicitação e consulta ao bancos de dados, é exibida uma resposta do código fonte na tela do usuário (Figura 3).

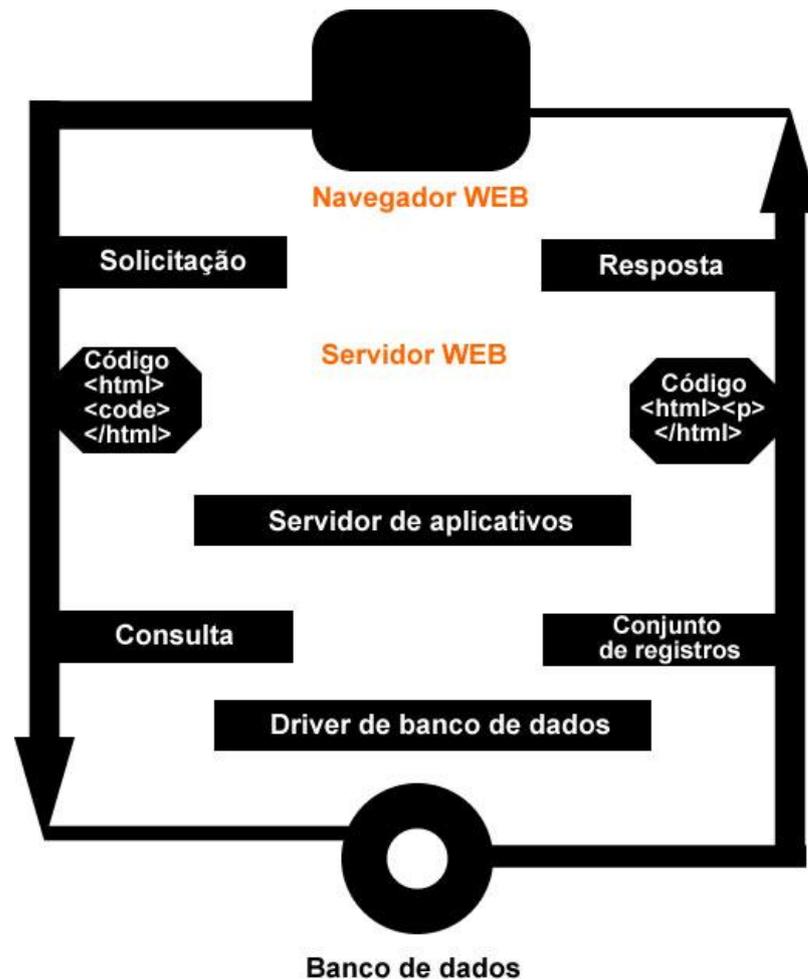


Figura 3. Fluxograma de funcionamento dos aplicativos em PHP.

O programa computacional foi desenvolvido para ser executado via internet, bastando o usuário ter acesso à rede para entrar no endereço que disponibiliza o programa. Este tipo de utilização torna mais fácil o uso do programa uma vez que não existe a necessidade de instalação de arquivos específicos e o usuário pode ter acesso em locais diferentes, como seu escritório, fazenda ou acesso remoto, utilizando algum dispositivo sem fio de conexão à rede internet, desde celulares até tablets.

A rede internet permite a hospedagem de documentos que podem estar na forma de vídeos, sons, hipertextos e figuras. Para visualizar a informação pode-se usar um programa de computador chamado navegador para descarregar informações de servidores e mostrá-los na tela do usuário. O usuário pode então seguir as ligações na página acessada para outros documentos ou mesmo enviar informações de volta para o servidor para interagir com ele.

O programa computacional desenvolvido foi hospedado em um servidor que se encontra em um provedor de serviços de internet nos EUA, que conta com capacidade de 300 MB. Foi desenvolvido o seguinte programa: – programa computacional para determinação da lastragem de tratores agrícolas.

### 3.1 Avaliação da transferência de peso e lastro de máquinas

Foi desenvolvido um aplicativo em PHP, utilizando-se a Norma ASAE D497.3 – Agricultural Machinery Management Data (Apêndice), para calcular a distribuição de lastro em tratores agrícolas. A eficiência tratória foi calculada pela Equação 27.

$$ET = (1 - \delta) \cdot \frac{NT}{GT} \quad (27)$$

Em que,

*ET* - eficiência tratória, adimensional;

$\delta$  - patinação do pneu, %;

*NT* - tração líquida, kN; e

*GT* - tração bruta, kN.

A força exigida na barra de tração do trator, segundo a norma ASAE D497.3, foi calculada pela Equação 28.

$$D = F_i [A + B(S) + C(S)^2] W.T \quad (28)$$

Em que,

*D* - força exigida na barra de tração, N;

*F<sub>i</sub>* - parâmetro adimensional de ajuste da textura do solo;

*I* - 1 para solo argiloso, 2 para solo médio, ou 3 para solo arenoso;

*A*, *B* e *C* - parâmetros adimensionais específicos da máquina;

*S* - velocidade de trabalho, km h<sup>-1</sup>;

*W* - largura da máquina, m, ou número de peças; e

T - profundidade de trabalho, cm, para implementos de preparo do solo, ou 1 cm para outros.

De acordo com a força exigida na barra de tração, calculada pela norma ASAE D497.3, a potência exigida na barra de tração do trator pelo implemento agrícola é calculada utilizando a Equação 29.

$$P = D \cdot S \quad (29)$$

Em que,

P - potência exigida na barra de tração, W;

D - força exigida na barra de tração, N; e

S - velocidade de trabalho, m.s<sup>-1</sup>.

O deslizamento da roda (patinagem) foi calculado pela equação abaixo:

$$\delta = 1 - \frac{V_a}{v_e} \quad (30)$$

Em que,

V<sub>a</sub> - velocidade atual, m.s<sup>-1</sup>;

V<sub>e</sub> - velocidade teórica, m.s<sup>-1</sup>.

O coeficiente de resistência ao rolamento causado pela deformação do pneu e perda de energia na deformação do solo foi calculado pela seguinte equação:

$$MRR = \frac{MR}{P} \quad (31)$$

Em que,

MRR - coeficiente de resistência ao rolamento no eixo dianteiro, N;

MR - resistência ao rolamento, N;

P - peso dinâmico da roda, N.

A força de tração total bruta foi calculada de acordo com:

$$F = MR + P_x \quad (32)$$

Em que,

F - força de tração, kN;

MR - resistência ao rolamento no eixo dianteiro, N;

$P_x$  - peso da roda, N.

Parte da força é requerida para vencer a resistência ao rolamento e o resto é a tração líquida, também chamada de força de tração ( $P_x$ ).

O coeficiente de tração bruta e o coeficiente de resistência ao rolamento é função de:

$$GTR, MRR = F(B_n, S) \quad (33)$$

$$B_n = F(C_n, \xi/h, b/d) \quad (34)$$

Em que,

$B_n$  – número de mobilidade.

$C_n$  – número da roda.

$\xi/n$  – relação de deflexão.

$b/d$  – relação da seção da largura/diâmetro.

GTR – Coeficiente de tração total bruto

$$C_n = Cl.b.d/W.D \quad (35)$$

Em que,

$C_n$  – número da roda.

Cl – índice de cone, kPa.

b – largura da roda, m.

d – diâmetro da roda, m.

W – peso do implemento, N.

O coeficiente de tração total (bruto), relação da força de tração total desenvolvida pelo trator pelo peso dinâmico nas rodas de tração, foi determinado através de:

$$GTR = 0,88(1 - e^{-0,1.Bn})(1 - e^{-7.5.S}) + 0,04 \quad (36)$$

$$MRR_r = 1/B_{nr} + 0,04 + 0,5 \cdot S/\sqrt{Bnr} \quad (37)$$

$$MRR_f = 1/B_{nf} + 0,04 \quad (38)$$

$$B_n = Cl.b.d/RWD (1 + 5\$/n / 1 + 3\$/n) \quad (39)$$

O coeficiente de tração líquida (NTR) foi calculado por:

$$NTR = P_x/RWD \quad (40)$$

$$NTR = GTR - MRR \quad (41)$$

Em que,

$P_x$  - Peso dinâmico no eixo traseiro requerido, N; e

MRR - Resistência ao rolamento no eixo dianteiro, N.

Deve-se incluir a transferência de peso da frente devido à tração horizontal e outra devido ao ângulo de tração de carga ou implemento. Foi calculado para uma potência no eixo traseiro. A necessidade de lastro adicional pode ser calculada como a diferença entre o peso dinâmico do eixo traseiro requerido e o peso dinâmico do eixo traseiro atual.

O consumo de combustível foi calculado pela Equação 42

$$SFC = 2,64 \cdot X + 3,91 - 0,203 \cdot \sqrt{(738X + 173)} \quad (42)$$

Em que,

SFC - consumo de combustível, L.h<sup>-1</sup>; e

X - relação da potência TDP equivalente utilizada para a potência máxima da TDP, W.

Em função do cálculo da transferência de peso, é recomendado o melhor trator para realizar a operação agrícola, dimensionando-se, assim, o conjunto trator e implemento mais adequado para a realização do trabalho.

### **3.2 Funcionamento do programa**

O programa se inicia com a tela de apresentação para inserção dos dados de entrada – velocidade teórica, profundidade, tipo de solo, índice de cone e parâmetros do implemento e do trator.

A partir destes dados, o programa inicia os cálculos com o valor de patinagem de 0,02, calcula a velocidade atual e em sequência o coeficiente de resistência ao rolamento, transferência de peso, número de mobilidade e MRRr.

Caso MRR - MRRr seja maior que 0,005, o programa realiza um looping adicionando 0,001 ao valor de MRR, caso contrário ele prossegue e calcula o coeficiente de tração total (Bruto) e o coeficiente de tração (Líquida).

Caso NTR2-NTR1 seja maior que 0,005, o programa adiciona à patinagem o valor de 0,01 e retorna ao cálculo da velocidade atual, refazendo todo percurso do código.

Em caso negativo com patinagem abaixo de 8%, o programa sugere o aumento da profundidade e velocidade, se a patinagem for maior que 8% o programa segue, sendo ainda a patinagem com valor maior que 8% ou menor ou igual a 12% observa-se o resultado do intervalo ótimo de patinagem, em caso negativo, o programa calcula a GTR e a ET para 12% de patinagem e segue calculando o RRWD.

Entretanto caso RRWD – RWD seja maior que 5, o programa retorna e incrementa o valor de 5 ao valor de RWD, em caso negativo, é calculado o requerimento de lastro na traseira (RRWD-RWD) e na frente (0,2 x TSW - FWD) e o SFC (consumo de combustível), retornando o valor final do requerimento de lastro frontal e traseiro e o consumo de combustível para determinada operação (Figura 4).

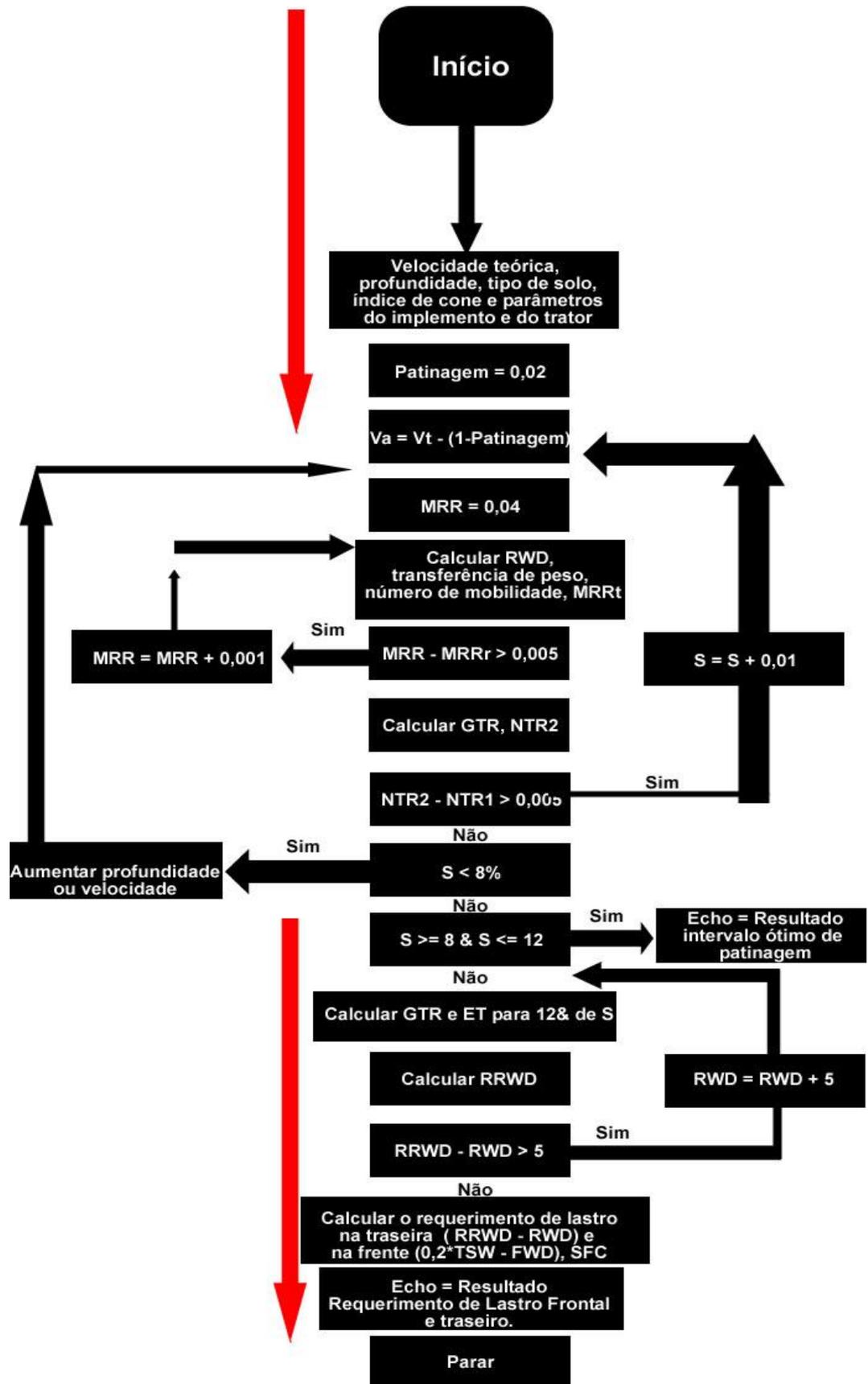


Figura 4. Fluxograma de funcionamento do programa.

### 3.3 Aquisição de dados

Para a aquisição de dados, utilizou um sistema de aquisição de dados composto por um coletor de dados modelo Campbell Scientific CR1000 e um notebook modelo HP Pavilion dv4. Utilizou a bateria do trator para alimentar o sistema de aquisição de dados e sensores.

O sensores utilizados no trabalho de campos foram – sensor de fluxo volumétrico modelo Oval M-III LSF45L0-M2, sensor indutivo modelo Dickey-john, célula de carga modelo SCHIMIZU T400, radar de velocidade modelo Dickey John DJ RVS2, e GPS modelo Garmin 60CSx.

O sensor de combustível (Figura 5) foi instalado na linha de alimentação de combustível depois do primeiro filtro de combustível para determinação do fluxo de combustível entre o tanque e sistema de alimentação do trator.



Figura 5 – Sensor para determinação do fluxo de combustível.

No retorno dos bicos e bomba injetora, entre o medidor e a bomba de sucção, foi conectado um T, de forma a representar o sistema em um circuito fechado. Instalou-se antes e depois do sensor, uma mangueira de 2 m de comprimento, para garantir que o fluxo do combustível pelo medidor seja laminar e não turbulento (Figura 6).

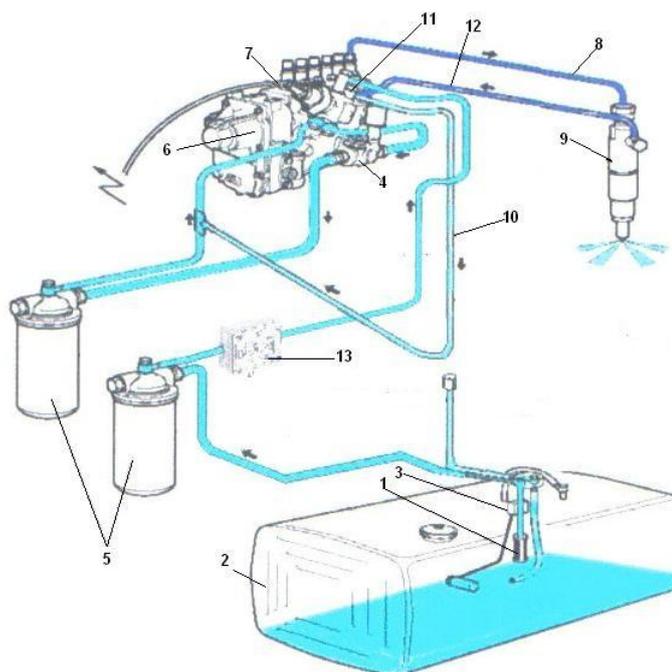


Figura 6 – Esquema de montagem do sensor de fluxo de combustível: 1 - tubo de sucção com filtro; 2 - reservatório de combustível; 3 - medidor de nível de combustível; 4 - bomba alimentadora; 5 - filtros de combustível; 6 - bomba injetora; 7 - válvula de combustível; 8 - linha de combustível para o bico; 9 - bico injetor; 10 - linha de retorno (desvio para alimentação); 11 - tubo de retorno de combustível; 12 - linha de combustível de retorno do bico; 13 - sensor instalado.

O sensor indutivo foi instalado próximo ao eixo de tomada de potência do trator (TDP) para determinação da frequência de funcionamento deste eixo. No eixo da TDP, instalou-se uma peça metálica permitindo ao sensor detectar sua presença gerando um sinal de saída correspondente à frequência de rotação deste eixo (Figura 7).



Figura 7 – Sensor indutivo usado para determinar a frequência da TDP.

A célula de carga (Figura 8) foi instalada entre o trator e o implemento para determinar a força de tração realizada pelo trator durante a operação agrícola. Foram utilizados dois pinos de conexão com olhais móveis para evitar torção e danos à célula.



Figura 8 – Célula de carga usada para determinar a força de tração.

O radar de velocidade (Figura 9) foi instalado no chassi do trator, entre as rodas dianteiras e traseiras, com angulação de 35° apontado para a parte

traseira do trator. O radar foi utilizado para determinar a velocidade real de deslocamento do conjunto trator e implemento nas superfícies de ensaio.



Figura 9 – Radar de velocidade usado para determinação de velocidade.

Para a determinação da posição do conjunto trator e implementos, utilizou-se o aparelho de GPS (Figura 10) instalado na cabine do operador do trator.



Figura 10 – Aparelho de GPS usado para a determinação da posição do trator.

Nos registros de dados, foram consideradas as variáveis consumo de combustível horário, frequência da TDP, força de tração, velocidade de trabalho, e data, hora e posição da coleta dos dados.

### 3.4 Ensaio de campo

Durante as avaliações de campo, foram utilizados um trator modelo John Deere 5705 4x2 TDA, grade aradora modelo Baldan CRI 14x28 controle remoto (Figura 11) e uma semeadora modelo Seed Max PCR 2226 (Figura 12).

Durante o trabalho, a tração dianteira auxiliar não foi acionada e utilizou-se as marchas A2, B1 e B2 em 3 repetições em 2 tipos de solos diferentes (firme e solto). No trator foram acoplados os instrumentos para registro e aquisição de dados.



Figura 11 - Grade aradora usada no trabalho de campo.



Figura 12. Semeadora usada no trabalho de campo.

Durante o trabalho de campo com os conjuntos mecanizados, algumas variáveis foram determinadas de forma direta pelos sensores de fluxo, indutivo e célula de carga, como o consumo de combustível instantâneo, frequência da TDP e força exigida na barra de tração. Outras variáveis foram determinadas de forma indireta.

Para determinar a frequência do motor do trator, utilizou-se os dados obtidos de frequência da TDP, gerados pelo sensor indutivo, de acordo com a equação 43.

$$f_{Mot} = f_{tdp} \cdot 3,89 \quad (43)$$

Em que,

$f_{Mot}$  – frequência do motor, Hz;

$f_{tdp}$  – frequência da TDP, Hz; e

3,89 – fator de conversão.

Para determinar o consumo de combustível horário, foram utilizados os dados obtidos pelo sensor de fluxo de combustível. Os pulsos gerados pelo sensor de fluxo foram convertidos em volume, considerando a relação de 10

mL pulso<sup>-1</sup>. O cálculo do consumo horário foi realizado de acordo com a equação 44.

$$Ch = v/t \times 3,6 \quad (44)$$

Em que,

$Ch$  – consumo horário, L h<sup>-1</sup>;

$v$  – volume de consumido, mL;

$t$  – tempo de percurso na parcela, s; e

3,6 – fator de conversão.

O cálculo do consumo específico de combustível foi realizado de acordo com a Equação 45.

$$C_{esp} = \frac{Chxd}{Pbt} \times 1000 \quad (45)$$

Em que,

$C_{esp}$  – consumo específico, gkW<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>;

$d$  – densidade do combustível, 0,825 gL<sup>-1</sup>;

$Pbt$  – potência na barra de tração, kW.

O cálculo do consumo operacional foi realizado de acordo com a Equação 46.

$$C_o = \frac{C_h}{C_e} \quad (46)$$

Em que,

$C_o$  - consumo operacional, L ha<sup>-1</sup>; e

$C_e$  - capacidade de campo efetiva, ha h<sup>-1</sup>.

O cálculo do consumo energético por unidade de área trabalhada foi realizado de acordo a Equação 47.

$$C_{et} = \frac{P_{bt}}{C_e} \quad (47)$$

Em que,

$C_{et}$  - consumo energético por área trabalhada, kW h ha<sup>-1</sup>.

A partir dos valores de força de tração obtidos pela célula de carga, a força de tração média foi calculada de acordo com a Equação 48.

$$F_m = \frac{\sum F_i}{t} \quad (48)$$

Em que,

$F_m$  - força de tração média, kN; e

$F_i$  - força de tração instantânea, kN.

O cálculo da potência demandada na barra de tração foi realizado em função da força de tração e da velocidade de deslocamento, conforme a Equação 49.

$$P_{bt} = \frac{F_m \times V_r}{3,6} \quad (49)$$

Em que,

$V_r$  - velocidade real de deslocamento do conjunto, km h<sup>-1</sup>.

O cálculo do rendimento na barra de tração foi realizado de acordo com a Equação 50.

$$R_{bt} = \frac{P_{bt}}{P_m} \times 100 \quad (50)$$

Em que,

$R_{bt}$  - rendimento na barra de tração, %; e

$P_m$  - potência no motor, 58,57 kW (conforme informação do fabricante).

A capacidade de campo teórica foi determinada por meio da largura útil de corte da grade aradora e sua velocidade de deslocamento teórico, de acordo com a marcha de trabalho selecionada. O trabalho foi realizado utilizando-se a marcha 3B, que corresponde a  $10 \text{ km h}^{-1}$ . A capacidade de campo teórica foi calculada pela Equação 51.

$$C_t = \frac{L \times V_t}{10} \quad (51)$$

Em que:

$C_t$  - capacidade de campo teórica,  $\text{ha h}^{-1}$ ;

$L$  - largura útil de corte da roçadora, m; e

$V_t$  - velocidade teórica de deslocamento do conjunto,  $\text{km h}^{-1}$ .

A capacidade de campo efetiva foi determinada utilizando-se o valor da velocidade real de deslocamento e a largura útil de corte da grade aradora. A largura útil de trabalho da grade aradora foi medida no campo. A capacidade de campo efetiva foi calculada pela Equação 52.

$$C_e = \frac{L \times V_r}{10} \quad (52)$$

Em que,

$C_e$  - capacidade de campo efetiva,  $\text{ha h}^{-1}$ ;

$V_r$  - velocidade real de deslocamento,  $\text{km h}^{-1}$ .

O cálculo da eficiência de campo foi realizado com a Equação 53.

$$E_{fc} = \frac{C_e}{C_t} \cdot 100 \quad (53)$$

Em que,

*Efc* - eficiência de campo, %.

#### **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

O usuário pode acessar o programa em locais diferentes, como seu escritório, fazenda ou algum dispositivo remoto sem fio de conexão à rede internet. O programa permite livre acesso a qualquer usuário que interessar, não possuindo senha ou regra para sua execução, porém o código fonte do programa é indisponível aos usuários, protegendo os direitos autorais dos desenvolvedores.

O programa resultou valores teóricos bem próximos dos valores práticos, porém sob o ponto de vista técnico, ainda precisam ser realizadas algumas adaptações, das quais foram bem visíveis a necessidade de alteração de cores de letras e a impressão dos resultados finais em tela de acordo com decisões futuras referentes a regras de aspecto visual utilizadas nas confecções de programas voltados para a área de mecanização.

#### 4.1 Lastragem de tratores agrícolas visando a otimização de operações agrícolas mecanizadas

O programa computacional apresenta para o usuário uma tela inicial, onde o usuário faz a seleção da operação agrícola e implemento utilizado (Figura 13).



Figura 13. Tela de seleção da operação agrícola.

Em seguida, deve ser escolhido o implemento (Figura 14).

# Lastragem de Tratores Agrícolas

 Principal

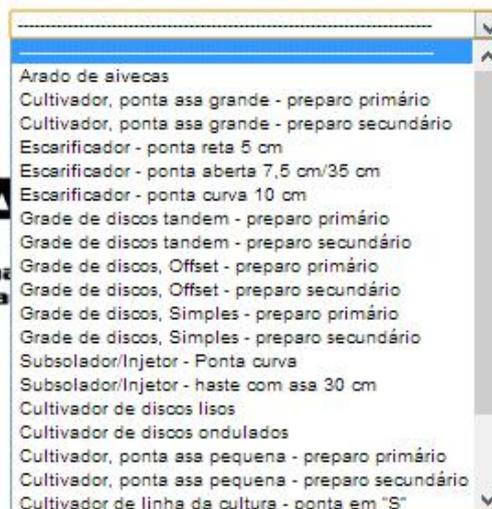
 Dúvidas

 Sair



Escolha o implemento

  
Fundação Carlos Chagas  
à Pesquisa do Estado de



  
Instituto Fluminense Darcy Ribeiro

Figura 14. Tela de seleção do implemento utilizado.

Após a escolha da operação e do implemento, o programa exibe uma tela com a opção de vários dados de entrada como: peso do trator, peso do implemento, pneus frontais e condições de superfície, pneus traseiros e condições de superfície, índice de cone, distância entre eixos, altura da barra de tração, potência na TDP, velocidade, profundidade e rotação na TDP (Figura 15).

# Lastragem de Tratores Agrícolas

 Principal

 Dúvidas

 Sair



Peso do trator (kg)

Peso do implemento (kg)

Pneus frontais e condição de superfície:

6.00 x 16 - Concreto

Pneus traseiros e condição de superfície:

7.50 x 28 - Concreto

Índice de cone (adimensional)

Distância entre eixos (mm)

Altura da barra de tração (mm)

Potência na TDP(kW)

Velocidade (km.h<sup>-1</sup>)

Profundidade (cm)

Rotação na TDP (rpm)

Figura 15. Tela de entrada de dados.

Logo em seguida a entrada de dados o programa exibe o resultado da força de tração exigida, requerimento de lastro frontal, requerimento de lastro traseiro, consumo de combustível e patinagem do rodado.

Na avaliação do programa computacional foram analisados estatisticamente pelo programa SAEG as proximidades dos dados práticos com os dados gerados teoricamente pelo algoritmo testado.

#### **4.2 Valores resultantes obtidos pelos sensores em comunicação com o aquisitor de dados**

Desenvolveu-se um algoritmo, para aquisição automática de dados, com a função de apresentar os dados, enquanto lidos, em tela, na forma gráfica e numérica, em tempo real, os dados resultantes destas medições são apresentados, resumidos e organizados em médias em formato de colunas (Tabelas 1 e 2).

Das variáveis medidas e simuladas (Força de tração, consumo de combustível, patinagem), o consumo foi a única variável que se obteve  $R = 1$ , ou seja, o valor medido é estatisticamente igual ao simulado, para as variáveis restantes necessitou-se realizar a análise de variância e regressão, afim de se obter as retas e equações que expliquem as diferenças obtidas nos valores medidos e simulados. A regressão foi feita comparando e confrontando-se os valores medidos para grade e para semeadora.

(km/h)		(km/h)		(kN)		(L/h)		TDP		Patinagem (%)		Tiro	Velocidade	Implemento
Velocidade Teórica	Velocidade Real	Força	Consumo	Frequencia	Consumo	Frequencia	Consumo	Frequencia	Consumo	Patinagem (%)	Tiro	Velocidade	Implemento	
4,073666667	3,590094231	5,047669646	3	666,6666667	3	666,6666667	3	666,6666667	3	8,274370246	1	a1	Grade	
4,062496935	3,471508218	6,666815463	5	664,8387097	5	664,8387097	5	664,8387097	5	8,8445487	2	a1	Grade	
6,630371379	5,641029807	8,036987942	6	663,1034483	6	663,1034483	6	663,1034483	6	9,439748445	3	b1	Grade	
6,572676	5,662951046	9,100730166	6	657,3333333	6	657,3333333	6	657,3333333	6	10,02302548	4	b1	Grade	
9,551637333	7,411514594	9,475413526	10	661,3333333	10	661,3333333	10	661,3333333	10	11,24957487	5	b2	Grade	
9,679882979	7,107138491	9,52926816	8	670,212766	8	670,212766	8	670,212766	8	11,27191	6	b2	Grade	
3,978146207	3,475296999	9,670990043	3	651,0344828	3	651,0344828	3	651,0344828	3	11,78768758	7	a1	Grade	
4,044756774	3,627645851	8,22	3,5	661,9354839	3,5	661,9354839	3,5	661,9354839	3,5	12,15153546	8	a1	Grade	
6,556487143	5,60818531	10,31005574	6	655,7142857	6	655,7142857	6	655,7142857	6	12,3459271	9	b1	Grade	
6,542202857	5,428916177	10,57786961	5	654,2857143	5	654,2857143	5	654,2857143	5	12,38140881	10	b1	Grade	
9,38795	7,386347966	10,59766469	7,5	650	7,5	650	7,5	650	7,5	13,52135732	11	b2	Grade	
9,4536	7,45890182	10,71606428	6	654,5454545	6	654,5454545	6	654,5454545	6	13,602563	12	b2	Grade	
3,954366429	3,405735956	11,34952612	6,5	647,1428571	6,5	647,1428571	6,5	647,1428571	6,5	13,65067009	13	a1	Grade	
3,993446769	3,611221116	11,64808788	5	653,5384615	5	653,5384615	5	653,5384615	5	13,97872015	14	a1	Grade	
6,49026	5,503238545	12,46774489	4,5	649,0909091	4,5	649,0909091	4,5	649,0909091	4,5	14,28573941	15	b1	Grade	
6,504227561	5,445036465	12,79389163	6	650,4878049	6	650,4878049	6	650,4878049	6	14,68017918	16	b1	Grade	
9,42942	7,657521544	12,94312592	7,5	652,8712871	7,5	652,8712871	7,5	652,8712871	7,5	14,86222041	17	b2	Grade	
6,88972185	5,63	13,10270238	8,58	654,78	8,58	654,78	8,58	654,78	8,58	14,9992908	18	b2	Grade	

Tabela 1. Dados adquiridos pelos sensores e armazenados no aquisitor na prática da grade aradora.

(km/h)		(km/h)		(kN)		(L/h)		TDP		Patinagem (%)		Tiro	Velocidade	Implemento
Velocidade Teórica	Velocidade Real	Força	Consumo	Frequencia										
4,092787959	3,24	9,991594291	3,5	669,80				12,28831149	1	a1	Semeadora			
4,108136154	3,42346587	10,653069	5	672,3076923				12,4854594	2	a1	Semeadora			
6,661402759	5,28	10,7293036	4,5	666,21				13,18564565	3	b1	Semeadora			
6,6743325	5,305791772	10,92193924	4	667,5				13,20572671	4	b1	Semeadora			
9,662367	7,885198805	10,99688209	6,50	669				13,54554	5	b2	Semeadora			
9,4962725	7,885371179	11,27197435	5	657,5				13,62374329	6	b2	Semeadora			
6,844003846	3,60	11,46870233	3,78	658,41				13,68426628	7	a1	Semeadora			
4,090818947	3,362003895	12,29932243	4	669,4736842				14,15896011	8	a1	Semeadora			
6,612975	5,28792754	12,49059886	5	661,3636364				14,26	9	b1	Semeadora			
6,59934	5,489522355	12,54975148	5,78	660				14,28137787	10	b1	Semeadora			
6,381492455	7,14	12,54975148	5,32	659,97				14,32407525	11	b2	Semeadora			
6,533187831	7,15	12,56191591	5,26	660,77				14,325434	12	b2	Semeadora			
6,479759746	3,43	12,56364035	3,80	664,36				14,39730692	13	a1	Semeadora			
6,479759746	3,28	12,56364035	3,73	664,36				14,85445	14	a1	Semeadora			
6,507090553	5,16	12,58661487	4,92	663,72				14,85656116	15	b1	Semeadora			
6,652209931	5,26	12,73511009	4,66	663,92				15,74191955	16	b1	Semeadora			
6,492246058	7,15	13,21649779	5,67	664,29				15,78122326	17	b2	Semeadora			
6,492246058	7,26	23,99521784	5,88	664,29				16,55888201	18	b2	Semeadora			

Tabela 2. Dados adquiridos pelos sensores e armazenados no aquisitor na prática da semeadora.

O sistema de aquisição automática de dados foi testado em condições dinâmicas, comparando-se dados obtidos pelo algoritmo desenvolvido com dados obtidos pelo modelo matemático simulado pelo programa desenvolvido em PHP. Foi realizada uma comparação dos dados lidos pelo algoritmo com os dados gerados pelo modelo matemático simulado em PHP, durante ensaios práticos. (Gráfico 1).

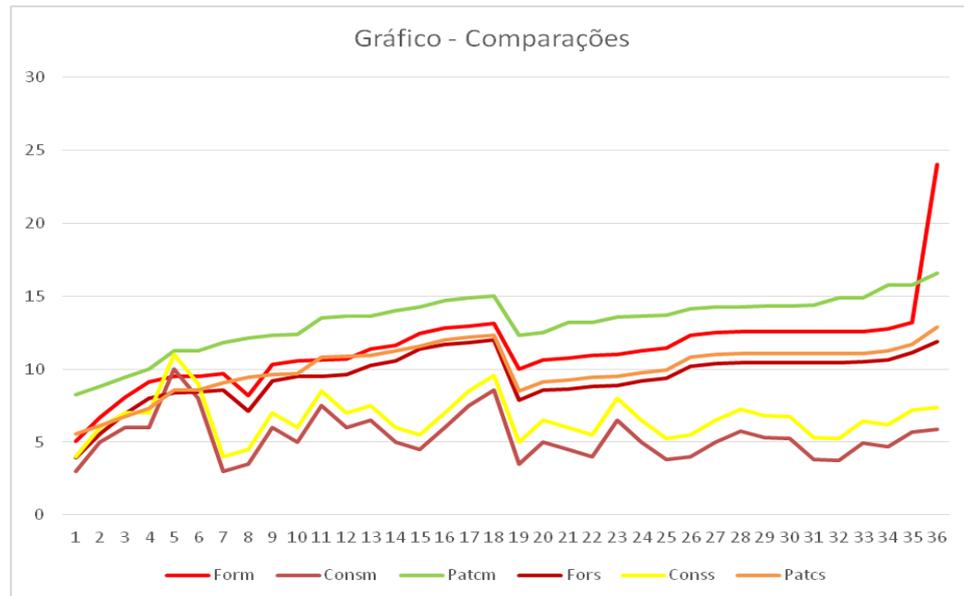


Gráfico 1. Gráfico de comparações dos valores medidos pelos sensores e os valores resultantes pelo algoritmo do programa computacional (força de tração, consumo de combustível e patinagem).

No Gráfico 2 pode-se verificar os valores de patinagem adquiridas pelos sensores e geradas pelo programa no eixo y e o número de repetições dos dois implementos (Grade aradora e Semeadora).

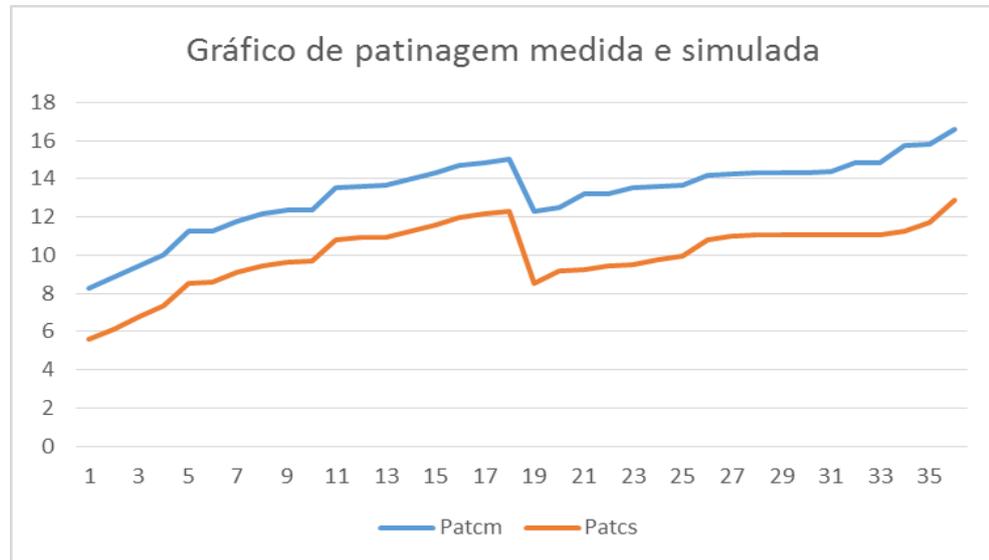


Gráfico 2. Gráfico de comparações dos valores de patinagem medidos pelo sensor e os valores resultantes pelo algoritmo do programa computacional.

Observa-se no Gráfico 3 os valores de força de tração adquiridas pelos sensores e geradas pelo algoritmo programa no eixo y e o número de repetições dos dois implementos (Grade aradora e Semeadora).

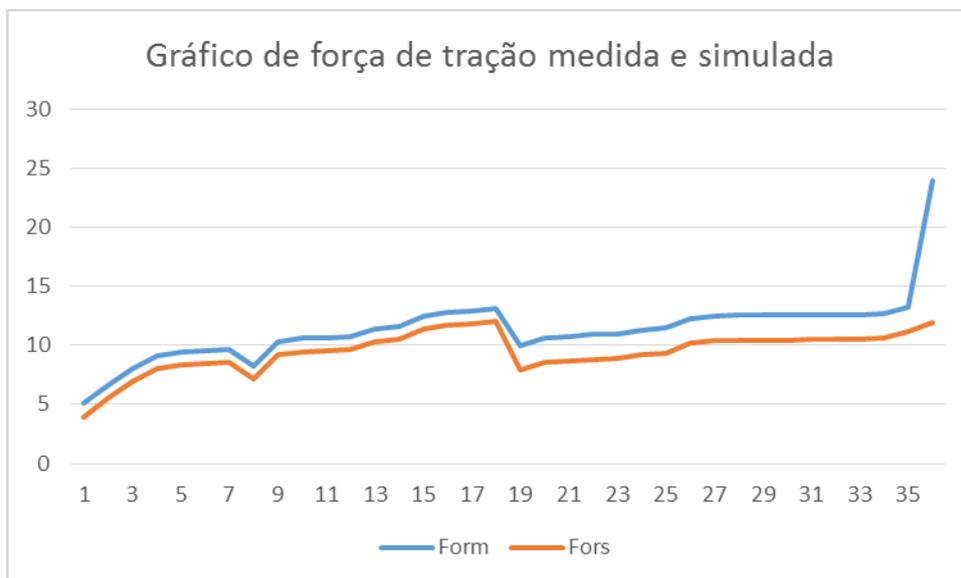


Gráfico 3. Gráfico de comparações dos valores de força de tração medidos e simulados.

Em função dos valores resultantes das correlações feitas terem sido altamente significativos, ou seja,  $R^2 = 1$ , pode-se afirmar que o algoritmo desenvolvido simula bem os valores teóricos quando comparados com os valores obtidos na prática, obtendo-se assim uma resposta linear (Gráfico 4, 5, 6 e 7).

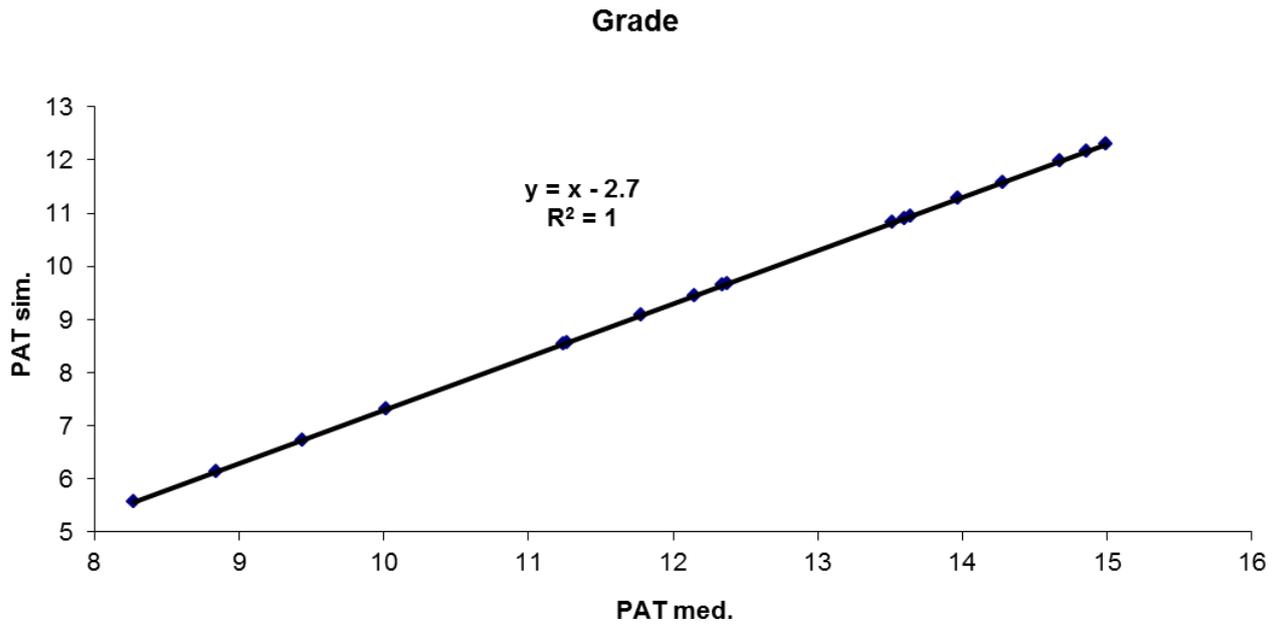


Gráfico 4. Gráfico de correlação da patinagem medida e simulada para o implemento Grade aradora.

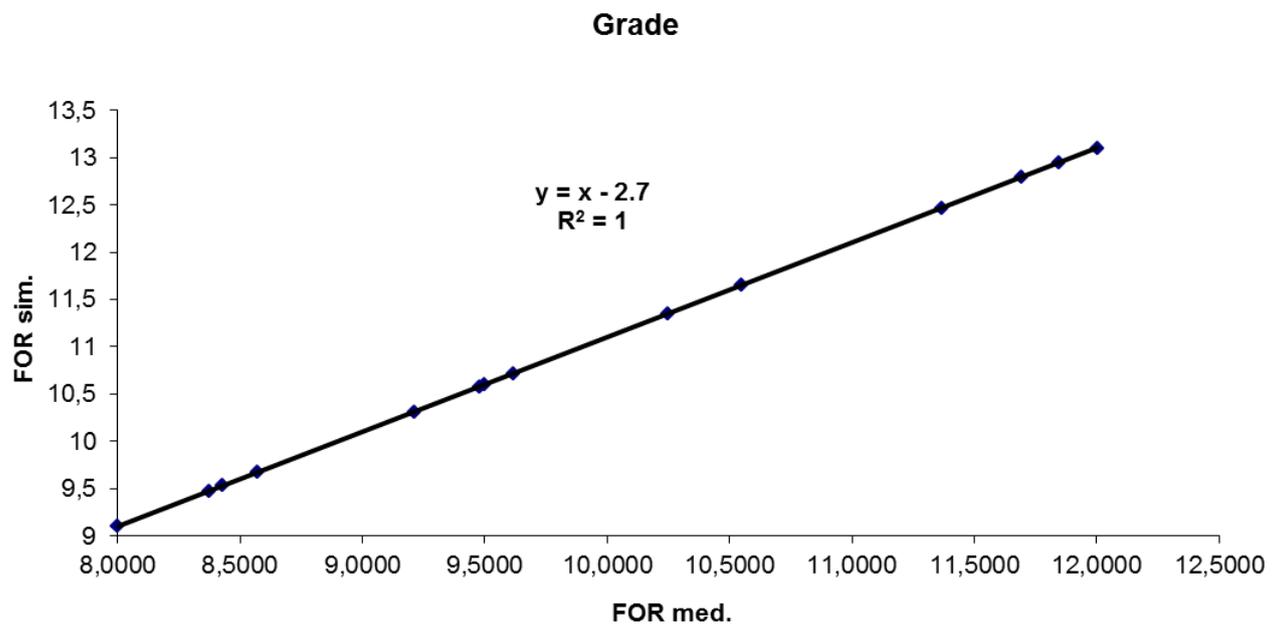


Gráfico 5. Gráfico de correlação da força de tração medida e simulada para o implemento Grade aradora.

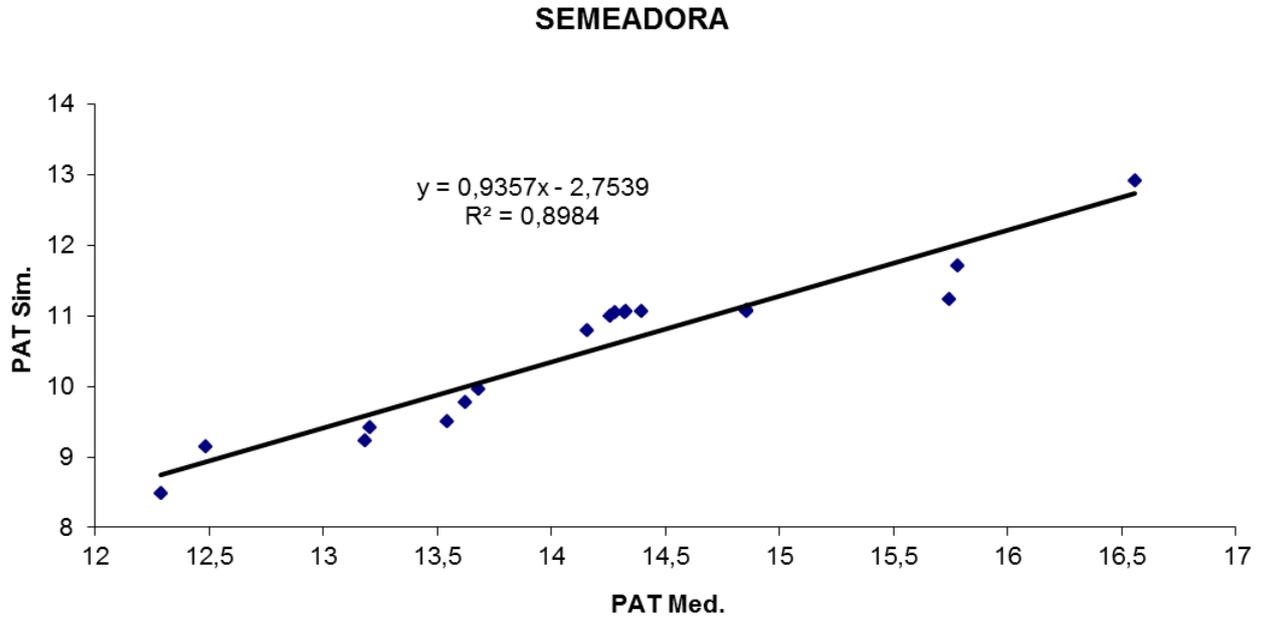


Gráfico 6. Gráfico de correlação da patinagem medida e simulada para o implemento semeadora.

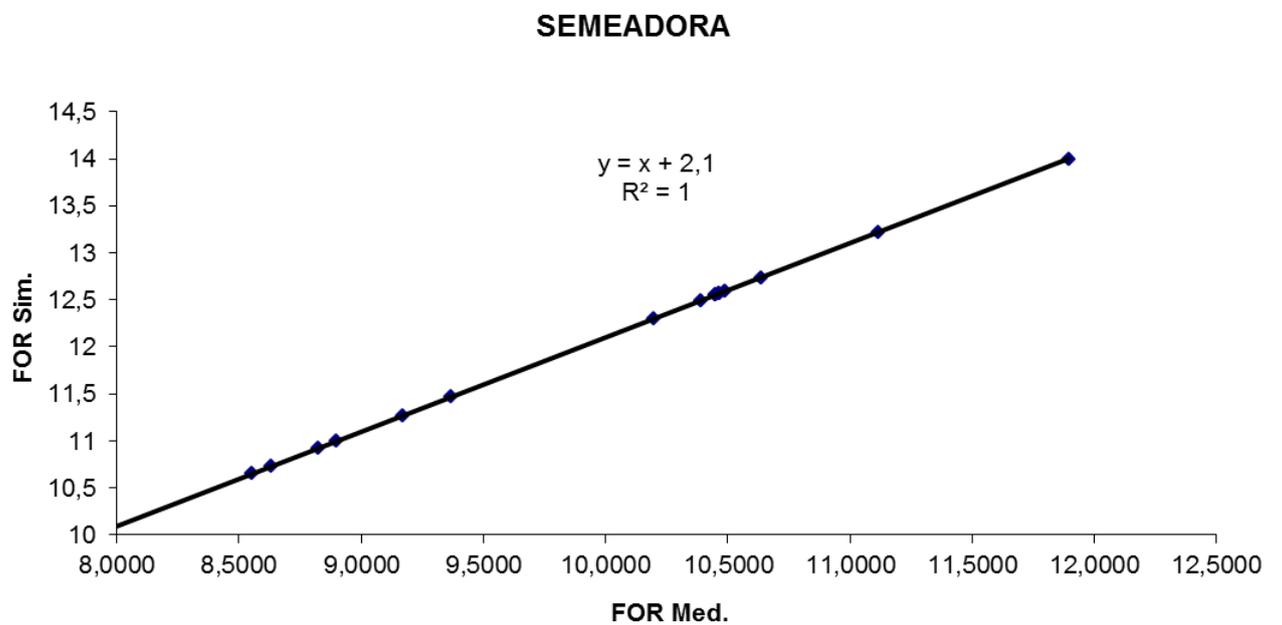


Gráfico 7. Gráfico de correlação da força de tração medida e simulada para o implemento Semeadora.

## 5. CONCLUSÕES

No trabalho realizado implementou-se um sistema de aquisição automática de dados e se desenvolveu um programa em PHP, para avaliação de máquinas agrícolas.

Os dados práticos medidos pelos sensores e calculados pelo algoritmo do programa computacional mostraram que a força de tração aumentou linearmente ao longo dos tiros independente do solo ser solto ou firme, assim como o consumo e a patinagem.

O algoritmo foi desenvolvido buscando-se a coleta de dados de forma eficiente e eliminando os erros tradicionais gerados pela coleta de dados convencional, como anotações incorretas em planilhas e perda de dados.

Observou-se, durante ensaios, facilidade de operação do sistema, permitindo rapidez na operação de aquisição de dados, e a capacidade de combinar o sistema implementado para atender a demandas de diversas pesquisas, podendo ser utilizado em diferentes tipos de máquinas agrícolas.

A partir do programa computacional desenvolvido, tornou-se possível a execução de tarefas para cálculos de avaliação da demanda de potência de máquinas e implementos agrícolas; determinação de patinagem para otimização

do desempenho do trator agrícola; distribuição de lastro, consumo de combustível e transferência de peso de maneira adequada com eficiente economia de tempo.

O programa computacional desenvolvido foi avaliado estatisticamente obtendo dados muito próximos dos dados obtidos pelos sensores. Apresenta a vantagem de ser oferecido sem a necessidade de arquivos de instalação, bastando o usuário ter acesso a rede internet. Porém, há a versão de instalação remota no modo PHP-GTK, caso o usuário não tenha acesso a internet.

Pretende-se dar sequência a este projeto futuramente, construindo um portal que, além dos programas já existentes e melhorados na sua interface com utilização do software Flash entre outros softwares mais voltados para animação, design gráfico e interação entre o programa e o usuário; também irá contar com aulas virtuais “streaming da mecanização”, acréscimo de mais programas com outras normas, setores de notas dos alunos, disponibilização de material para estudo e muitas outras funções que estão sendo desenvolvidas em forma de plug-ins, que irão sendo incorporadas no decorrer de futuros projetos aprovados e financiados por instituições financeiras como FAPERJ, CNPQ OU CAPES.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASAE (2003a) American Society of Agricultural Engineers: Agricultural machinery management data – ASAE Standards D497.4. St. Joseph: 373-380.

ASAE (2003b) American Society of Agricultural Engineers: Agricultural machinery management – ASAE Standards EP496.2. St. Joseph: 367-372.

Baio, F.H.R., Antuniassi, U.R., Balastreire, L.A., Caixeta Filho, J.V. (2004) Modelo de programação linear para seleção de pulverizadores agrícolas de barras. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, 24 (2): 355-363.

Borges, I.O., Maciel, A.J.S., Milan, M. (2006) Programa computacional para o dimensionamento de colhedoras considerando a pontualidade na colheita de soja. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, 26 (1): 131-141.

Cultivar – Critérios de Seleção:  
<http://www.grupocultivar.com.br/artigos/artigo.asp?id=525> em 21/01/2009  
página mantida pelo Grupo Cultivar.

- Garcia, R.F. (1998) *Otimização do projeto de componentes de uma colhedora de forragem*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Viçosa – MG, Universidade Federal de Viçosa – UFV.
- Garcia, R. G. (2002) Simulação do comportamento dinâmico de uma colhedora de feijão. Universidade Federal de Viçosa, UFV. Viçosa, p.86. (Tese de Doutorado).
- Jenane, C., Bashford, L. L., Monroe, G. Reduction of fuel consumption through improved tractive performance. *Journal of Agricultural Engineering Research*. (1996) Ed. 64 p. 131 – 138.
- Jesuino, P R. Desempenho de um trator agrícola em função do desgaste das garras dos pneus e das condições superficiais do solo. Faculdade de Ciências Agrônomicas, UNESP - Botucatu, p.64. 2007. (Dissertação de Mestrado).
- Klaver, P.P.C. (2006) *Fórum eletrônico de discussão sobre clínica fitossanitária no Brasil*. 2006. Monografia (Bacharelado em Engenharia Agrônômica) – Campos dos Goytacazes – RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense – UENF.
- Lanças, K. P., Upadhyaya, S. K. (1997) Pneus radiais para tratores. Guia para a seleção correta da pressão de inflação. *Energia na Agricultura*, Botucatu, 1:1-33.
- Liljedahl, J.B.; Carleton, W.M.; Turnquist, P.K.; Smith, D.W. (1995) Traction. In: *Traction and their power units*. Connecticut: *Avi Publish Company*, 2:1-53.
- Linares, P. (2001) Transmisiones (I). *Agrotécnica*, 1:71-78.
- Lopes, J.D.S, Mantovani, E.C., Pinto, F.A.C., Queiroz, D.M. (1995) Desenvolvimento de um programa computacional para selecionar, economicamente, um sistema de mecanização agrícola. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 30 (4): 537-542.

Márquez, L. Solo Tractor 90. Madrid: Laboreo, 198 p.1990.

Martins, R.S., Lobo, D.S., Rocha Júnior, W.F., Oliveira, H.F. (2004) *Desenvolvimento de uma ferramenta para a gestão da logística da captação de leite de uma cooperativa agropecuária*. Monografia – Toledo – PR, Universidade Estadual do Oeste do Paraná.

Mialhe, L. G. Máquinas agrícolas: Ensaio & certificações. Piracicaba: FEALQ, 1996. 772p.

Monteiro, L. A. Desempenho operacional e energético de um trator agrícola em função do tipo de pneu, velocidade de deslocamento, lastragem líquida e condição superficial do solo. Faculdade de Ciências Agrônômicas, UNESP - Botucatu, p.69. 2008. (Dissertação de Mestrado).

National Academy of Engineering. Agricultural Mechanization Timeline – Greatest Engineering Achievements of the Twentieth Century: <http://www.greatachievements.org> em 21/01/2009 página mantida pela National Academy of Engineering.

Narciso, M.G. Banco de dados georeferenciado e sistema de apoio a decisão para a cultura de milho: <http://www.agrosoft.org.br> em 19/06/2008 página mantida pela Agrosoft.

Neujahr, E.B.; Ferreira, M.F.; Schlosser, J.F.; Schneider, V. Comportamento da área de contato e raio dinâmico de pneu agrícola diagonal em função da pressão interna. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 27, 1998, Poços de Caldas. Anais... Lavras: UFLA/SBEA, 1998. v.4, p.241-243.

Paglis, C.M. Internet na Agropecuária. Fito 123 – Informática na Agricultura: [http://www.dag.ufla.br/MODAGP/\\_private/Internet\\_Agropec.pdf](http://www.dag.ufla.br/MODAGP/_private/Internet_Agropec.pdf) em 19/01/2009 página mantida pela Dag.

- Pavan, W. (2002) Novas tecnologias computacionais aplicadas à modelagem e simulação de patossistemas agrícolas. *XXXVII Congresso Brasileiro de Fitopatologia*. Fitopatologia Brasileira, 29-27.
- Pranav, P. K.; Pandey, K. P. Computer simulation of ballast management for agricultural tractors. *Journal of Terramechanics, India*, v.45, n.6, p.185-192.
- Sharma, A.K; Pandey, K.P. A review on contact area measurement of pneumatic tyre on rigid and deformable surfaces. *Journal of Terramechanics, Oxford*, v.33, n.5, p.253-64, 1996.
- Silva, D.R., Pozzebon, E., Almeida, M.A.F. (2002) *SEMAÇA - Sistema especialista para auxílio no diagnóstico de doenças da maçã e macieiras*. Monografia – Lages – SC, Universidade do Planalto Catarinense.
- Zambalde, A.L., Segre, L.M., Jesus, J.C.S. (2006) Considerações estratégicas sobre o processo de informatização das empresas/propriedades rurais. *Revista Agrosoft*, Juiz de Fora, 32-35.
- Zanoni, A.P., Borges, J.C.N., Ribeiro, L.G.C. (2007) *Dimensionamento em software do sistema agrícola mecanizado*. Monografia (Engenharia de Computação) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
- Yanai, K.; Silveira, G. M.; Lanças, K. P.; Corrêa, I. M.; Mazieiro, J. V. G. Desempenho operacional de um trator com e sem o acionamento da tração dianteira auxiliar. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 34, n. 8, p. 1427-1434,1999.